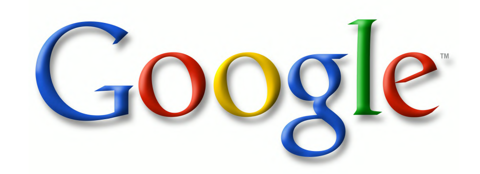


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/

G98
B 50475 2
STORAGE
C2w5
68-

Sternwarte des Herrn v. Bülow zu Bothkamp.

Bestimmung der Rotationsdauer der vier älteren Jupitertrabanten aus Beobachtungen ihrer Helligkeitsschwankungen.

Die physische Beschaffenheit ihrer Oberflächen.

Mitteilung Nr. II

von

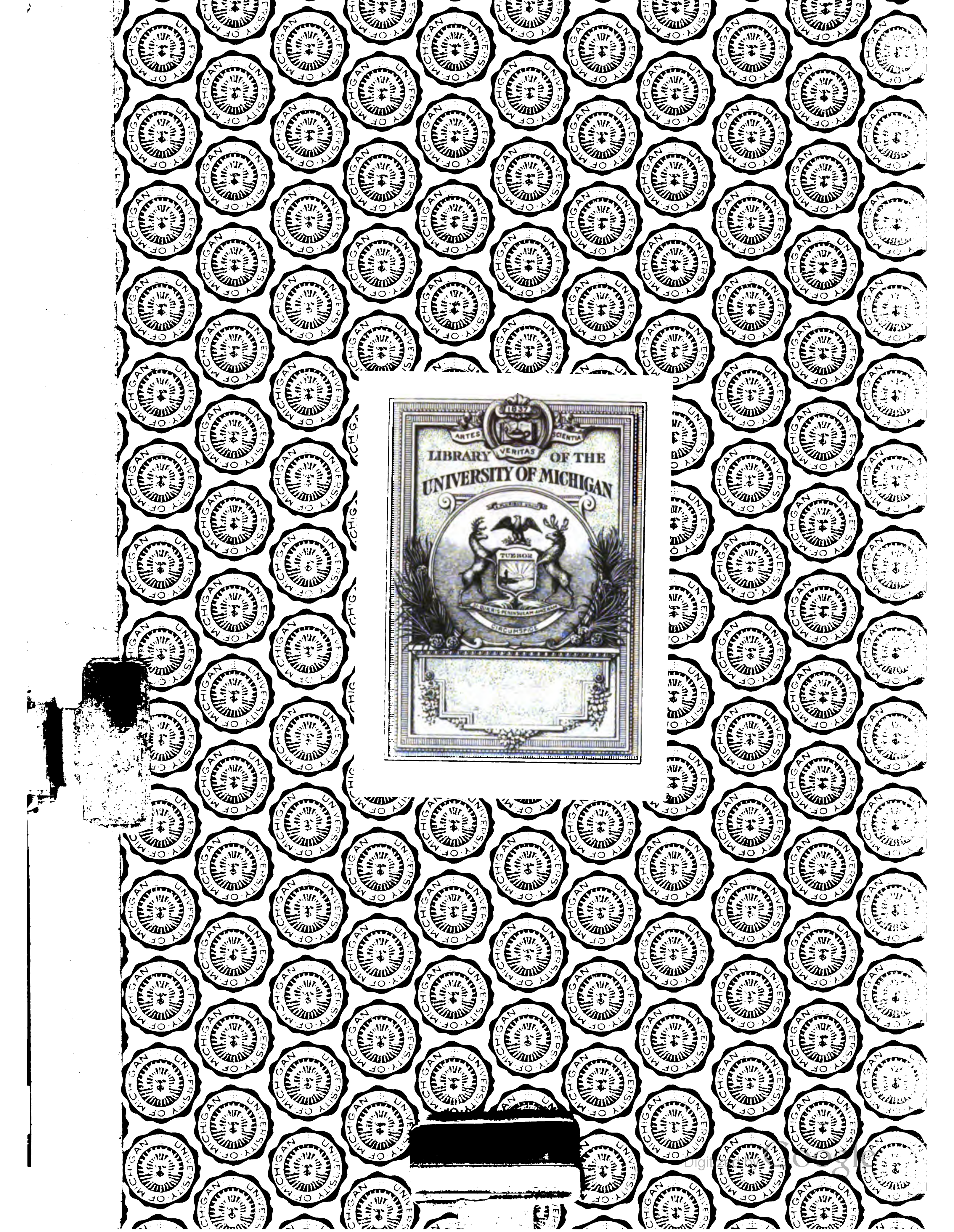
Dr. P. Guthnick,

Astronom der Sternwarte

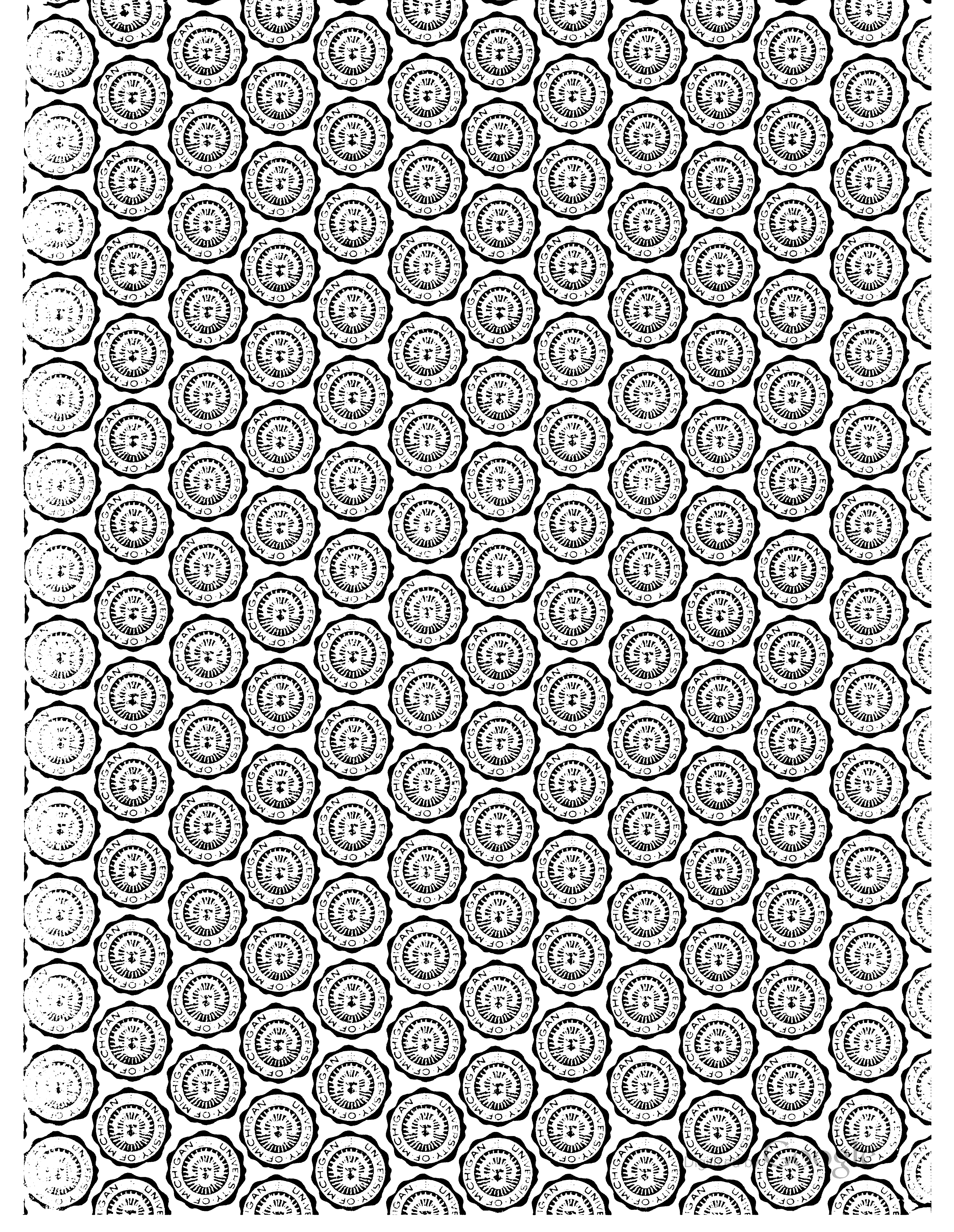


Kiel.
Druck von C. Schaidt
1905.

Digitized by Google



Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Astronomical
Observatory

QB
404
.G95

Digitized by Google

Digitized by Google

68 -

Sternwarte des Herrn v. Bülow zu Bothkamp.

Bestimmung
der Rotationsdauer der vier älteren Jupitertrabanten aus Beobachtungen ihrer Helligkeitsschwankungen.

Die physische Beschaffenheit ihrer Oberflächen.

Mitteilung Nr. II

von

Dr. Paul Guthnick,
Astronom der Sternwarte.

Kiel.
Druck von C. Schaidt.
1905.

Digitized by Google

Inhalt.

Digitized by Google

I.

Das Problem, welches die veränderlichen Helligkeitsverhältnisse der Jupitertrabanten darbieten, ist nicht nur mit Hinsicht auf die Frage der Rotationszeiten dieser Himmelskörper und die damit zusammenhängenden Erkenntnismöglichkeiten von großem Interesse, sondern vielleicht noch mehr deshalb, weil man hoffen darf, auf Grund eines hinreichend vollständigen und zuverlässigen Beobachtungsmateriales einige Aufschlüsse über die physischen Zustände der Oberflächen jener Gestirne zu erhalten, welche bisher der direkten teleskopischen Beobachtung und selbst der Spektralanalyse im wesentlichen versagt geblieben sind. Allerdings durfte man, solange keine zwingenderen Beweise als die bisherigen vorlagen, die Möglichkeit nicht außer acht lassen, daß die Rotationszeiten von den Umlaufszeiten verschieden seien, doch ist die Wahrscheinlichkeit dieses Falles aus mechanischen und Analogiegründen von jeher nur für sehr gering gehalten worden. Die folgenden Untersuchungen, welche auf den zuverlässigsten der älteren photometrischen Beobachtungen sowie auf ziemlich zahlreichen neuen im Winter 1904–05 auf der Bothkamper Sternwarte gemachten beruhen, werden, so hoffe ich, den Zweifel bezüglich der Rotationszeiten, soweit dies durch photometrische Beobachtungen allein überhaupt möglich ist, beseitigen. Ferner hat sich für die Zukunft wenigstens die Aussicht eröffnet, unter Benutzung gewisser Helligkeitsphasen bei den Trabanten I, II und III noch einen Schritt weiter zu kommen, nämlich eine erste rohe Bestimmung der Neigungen der Rotationsachsen zu erlangen. Weiterhin ist ein Versuch gemacht worden, durch eingehendes Studium der aufgestellten mittleren Lichtkurven der Trabanten zu dem zweiten Teil des Problems, der Erforschung der Physik der Oberflächen jener Körper einen Beitrag zu liefern.

Über die Bothkamper Beobachtungen sind vorläufige Mitteilungen in den Nummern 4000 und 4023 der Astronomischen Nachrichten erschienen. Man wird finden, daß die dort ausgesprochenen, auf den vorläufigen Resultaten beruhenden Ansichten über die Natur des Lichtwechsels im folgenden einige Modifikationen erfahren haben; dies darf nicht überraschen, da nach der letzten Mitteilung noch Untersuchungen über die hierher gehörenden Punkte angestellt worden sind, die zu veränderten Ergebnissen geführt haben; und überdies ist seitdem noch einiges ältere (vorher nicht zugängliche) Beobachtungsmaterial von großer Wichtigkeit zu meiner Kenntnis gelangt, das gewisse Fragen in einem anderen Lichte erscheinen läßt. Die Bothkamper Schätzungen sind durchweg von neuem reduziert worden, sodaß auch das Zahlenmaterial und die hieraus abgeleiteten Werte für die Maximal- und Durchschnittshelligkeiten, die Albedowerte etc. geringe Veränderungen erlitten haben. Die um die Jahreswende 1904–05 in Bonn angestellten Schätzungen sind nunmehr auch mitgenommen worden, obwohl die von vornherein gehegte Vermutung, daß dieselben infolge der unzureichenden Beobachtungsmittel wertlos seien, sich leider bestätigt hat; sie liefern aber für die Beurteilung mancher älterer Beobachtungsreihe, die unter ähnlichen Verhältnissen zustande gekommen ist, eine willkommene Stütze. Ehe ich in die Materie eintrete, möchte ich denjenigen Herren gegenüber, welche mir bei dem vorliegenden Gegenstand ihre Unterstützung durch Rat und Tat geliehen haben, meine Dankespflicht erfüllen. Vor allem bin ich Herrn *Auwers* für bereitwillige Auskunft über seine von mir benutzten Beobachtungen der Trabanten aus den Jahren 1850–60 sowie für sehr wertvolle Ratschläge bezüglich einiger von mir empfundenen Schwierigkeiten verpflichtet; den Herren *Küstner, Harzer* und *Kreutz* verdanke ich die Erlaubnis, die Bibliotheken der ihnen unterstehenden Institute bezw. ihre eigenen benutzen zu dürfen; Herrn *Riem* vom Königl. Recheninstitut die zeitweilige Überlassung der Tafeln und der von ihm besorgten Berechnungen der Jupitertrabanten für das Berliner Jahrbuch.

II.

Beobachtungen in Bothkamp und Bonn.

Die Beobachtungen in Bothkamp bestehen aus Messungen mit einem Zöllnerschen Photometer in Verbindung mit dem elfzölligen Refraktor der Sternwarte und aus Schätzungen an demselben Fernrohr, an den beiden letzten Beobachtungsabenden an einem dreizölligen Fernrohr von Fraunhofer; sie erstrecken sich über den Zeitraum 1904 Dez. 18 bis 1905 April 7, jedoch entfallen wegen Ungunst der Witterung und der Abwesenheit des Beobachters von Bothkamp auf den Dezember nur zwei Beobachtungsabende. Die Schätzungen in Bonn wurden während eines kurzen Aufenthaltes daselbst an fünf Abenden von Dezember 22 bis Januar 2 mit einem $2^1/_2$-zölligen Fernrohr erhalten. Der für die Beobachtungen gefaßte Plan war zunächst denjenigen Anschauungen über die Helligkeitsbewegungen der Trabanten angepaßt, welche ich nach Durchsicht der bisherigen Untersuchungen, unter denen die Arbeit Engelmanns die gewichtigste war, haben mußte: es findet zwar im allgemeinen ein Gang der Helligkeiten mit den Umlaufszeiten in der Weise statt, daß die

164531

Digitized by Google

Gleichheit der Rotations- und Revolutionszeiten wahrscheinlich ist, doch scheinen unregelmäßige rapide und große Veränderungen der Helligkeiten (infolge Wolkenbildungen in den Trabantenatmosphären?) aufzutreten, welche die Gesetzmäßigkeit des Lichtwechsels bei den Trabanten I, II und III oft ganz zerstören. Daß die Rotationszeiten überhaupt nicht gleich den Umlaufszeiten seien, war den Ergebnissen der Engelmannschen Untersuchung gemäß auch nicht ganz ausgeschlossen. Es war daher außer Frage, daß versucht werden mußte, in möglichst kurzer Zeit über die ganze Bahn verteilte Helligkeitsbestimmungen zu erlangen, um den Einfluß der unregelmäßigen Helligkeitsänderungen tunlichst zu eliminieren. Aus diesem Grunde bin ich besonders im Anfang bei der Wahl der Beobachtungsabende nicht allzu ängstlich verfahren in der Erwartung, daß schlimmsten Falles immer noch die Vergleichungen der Trabanten untereinander, bei denen man in den meisten Fällen gleiche Luftzustände für alle Trabanten annehmen kann, brauchbar sein dürften und sich auch auf irgend eine einwandfreie Weise würden reduzieren lassen. An hinreichend günstigen Abenden ist die Helligkeit eines jeden Trabanten in längeren Intervallen mehrmals bestimmt worden, sodaß das Vorhandensein einer kurzen Rotationsperiode nicht hätte verborgen bleiben können. Im Verlauf der Beobachtungen ergab sich dann, daß, wenigstens im Winter 1904–05, die unregelmäßigen Veränderungen der Helligkeiten gegenüber den regelmäßigen so wenig in Betracht kommen, daß die ersteren eines Beweises mehr bedurften als die letzteren und man tatsächlich über ihre Existenz im Zweifel sein kann; aber die Lichtkurven stellten sich als so komplizierte Formen heraus, daß auch unter den veränderten Umständen, um bis zum heliakischen Untergang des Jupiter ein einigermaßen vollständiges Beobachtungsmaterial zusammen zu bekommen, möglichst zahlreiche Beobachtungen in der verfügbaren Zeit erstrebt werden mußten. Anfangs wurde die Identifizierung der Trabanten vor der Beobachtung vermieden, um der für photometrische Beobachtungen besonders schädlichen Voreingenommenheit zu entgehen. Bei diesem Verfahren, das überhaupt nur für die beiden innern nahe gleich hellen Trabanten Zweck hat, nimmt man aber den Nachteil mit in Kauf, daß besonders wichtige Helligkeitsphasen unbenutzt vorüber gehen können; deshalb berechnete ich später die Örter und Anomalien der Trabanten meist vorher und stellte fest, wo die Beobachtungen am notwendigsten waren, um demgemäß zu verfahren. Gleichwohl sind bis zum Abschluß der Beobachtungen einige wichtige Helligkeitsphasen meiner Aufmerksamkeit entgangen, bedauerlicher Weise, da sie öfters hätten beobachtet werden können, wenn ich darauf bedacht gewesen wäre. Die Messungen wurden, wie schon bemerkt, mit einem Zöllnerschen Photometer in Verbindung mit dem großen Refraktor der Sternwarte gemacht. Die Öffnung des Refraktors ist 29.4 cm, die Brennweite 491 cm; die Öffnung wurde jedoch durch eine kreisförmige Blende auf 6.7 cm abgeblendet, um den Trabanten eine solche Intensität zu geben, daß bei der durch die Größe der scheinbaren Trabantenscheiben bedingten Wahl des Diaphragmas für die künstlichen Sterne die Ablesungen am Intensitätskreis des Photometers keine extremen Werte erreichen sollten, was in befriedigender Weise erreicht worden ist. Die starke Abblendung des Objektivs hat noch einige weitere Vorteile dargeboten: die Intensität des Jupiter wurde bedeutend geschwächt, sodaß bei reinem Himmel eine Belästigung durch dieselbe nicht mehr stattfand; ferner erhielten auch die Vergleichsterne infolge der vermehrten Beugung etwas größere Scheibchen als ohne Abblendung, was die Messungen sehr erleichterte wegen der größeren Ähnlichkeit mit den künstlichen Sternen, und endlich wurde die Unruhe der Bilder sehr merklich reduziert. Die angewandte Vergrößerung war anfangs etwa 100, später 130, soweit ich sie ohne Dynameter bestimmen konnte; ein Okularprisma ist nicht verwendet worden. Die Schätzungen am großen Refraktor wurden fast durchweg unter ganz gleichen Umständen gemacht, eine Abblendung des Jupiter erschien nicht nötig; es wurde aber darauf geachtet, bei den Schätzungen die Objekte der Beobachtung möglichst scharf ins Auge zu fassen, um den Rest der Erleuchtung des Gesichtsfeldes und der Netzhaut durch Jupiter unschädlich zu machen. Die Schätzungen an dem dreizölligen Fraunhofer geschahen in der hellen Dämmerung, sodaß bei ihnen die berührte Fehlerquelle nicht in Frage kommen konnte; die angewandte Vergrößerung war etwa 55. Dagegen sind die Schätzungen in Bonn (Vergrößerung 55) ohne jede Vorsichtsmaßregel angestellt worden.

Das Photometer bedarf einer eingehenden Beschreibung. Dasselbe ist älterer Konstruktion (von Ausfeld) und hat schon früher von mir für andere Messungen einige das Lampengehäuse betreffende Umänderungen erfahren, die ein Klempner des nahegelegenen Dorfes Kirchbarkau geschickt ausgeführt hat. Es ließe sich vermittels eines Verbindungsgewindes sehr bequem am Refraktor anbringen, wenn man die gewöhnliche Okularplatte, welche den Okularauszug trägt, benutzen könnte. Da aber der Tubus des Refraktors nur wenig kürzer als die Brennweite ist, so war zu wenig Spielraum für die Fokusierung vorhanden und es mußte deshalb eine andere, hölzerne Okularplatte eingesetzt werden, die einige Zentimeter weit in den Tubus hinein befestigt werden kann. Sie trägt einen Messingzylinder mit Gewinde, an dem das Photometer angeschraubt wird. Selbstverständlich ist unabhängige Fokusierung auf natürlichen und künstlichen Stern möglich; einmal ausgeführt, hat sie sich stets lange Zeit hindurch konstant erhalten. Die Photometerlampe war ursprünglich nur mit einem engen geschwärzten Metallzylinder versehen, der auf einer flachen Glocke aufgesetzt war. Diese trug drei äquidistante abwärts gebogene Röhren für die Luftzufuhr. Diese Einrichtung hielt den Wind nicht genügend ab und hatte außerdem den bedenklichen Übelstand, daß infolge der unsymmetrischen Verteilung der Luftzufuhr die Flamme stets eine ziemlich starke Neigung gegen die Vertikale besaß. Um schädlichen Luftzug abzuhalten, umgab ich die Lampe mit einem $14^1/_2$ cm weiten durch einen Deckel verschließbaren Blechzylinder mit zwei Böden, von denen der eine nur auf der einen Hälfte, der zweite auf der andern Hälfte siebartig durchbrochen ist, sodaß kein Windstoß zur Flamme gelangen kann. Auf dem Deckel ist eine $5^1/_2$ cm weite und 20 cm hohe, innen geschwärzte, den engern Lampenzylinder umschliessende Röhre aufgesetzt, die am obern Ende durch einen abnehmbaren, etwas weiteren Deckel mit überhängendem Rande verschlossen wird, wobei die Luft zwischen Zylinderwand und Deckelrand

Digitized by Google

austreten kann, ohne daß von außen ein direkter Luftzug zur Flamme zu gelangen vermag. Dieses Lampengehäuse hat sich als vollkommen windsicher erwiesen, den inneren Zylinder konnte ich unbeschadet der Ruhe der Flamme weglassen. Von außen ist das Brennen der Lampe durch eine mit Glas verschlossene Öffnung zu kontrollieren. Von den beiden künstlichen Sternen wurde der hellere, an der vorderen Glasfläche reflektierte benutzt. Der Kolorimeterkreis war von Januar 13 ab stets auf die Ablesung 93° gestellt, welche einer in Wirklichkeit grünlich gelben Färbung des Sternes entspricht, scheinbar war derselbe bei seiner geringen Intensität weißlich gelb. Vor Januar 13 stand der Kreis auf Ablesungen zwischen 85° und 100°. Daß die Lampe fast durchweg vor jeder Messungsreihe neu gerichtet wurde (durch Nachfüllen des Petroleums und Reinigen des Dochtes), braucht kaum bemerkt zu werden. Infolge dieser Vorsichtsmaßregeln habe ich in keiner Reihe Veränderungen der Intensitäten des künstlichen Sternes zu beklagen. Das Diaphragma für den künstlichen Stern war stets dasselbe und so gewählt, daß das Scheibchen des letzteren bei ruhiger Luft ungefähr die Mitte hielt zwischen denjenigen des Trabanten III und der Vergleichsterne. Unter günstigen Umständen war der Unterschied in dem Aussehen der verschiedenen Lichtquellen sehr gering und nur durch aufmerksame Betrachtung zu erkennen.

Alle Beobachtungen am großen Refraktor sind bei gehendem Uhrwerk angestellt. Die Messungen speziell geschahen meist auf folgende Weise: Das zu messende Objekt wurde fast stets zuerst rechts vom künstlichen Stern, in horizontaler Richtung in einen Abstand von 10"–20" gebracht; dann wurde in den beiden ersten (resp. den beiden letzten) Quadranten des Intensitätskreises gemessen. Darauf wurde das Objekt in die gleiche Entfernung links vom künstlichen Stern gebracht, ebenfalls in horizontaler Richtung und in den beiden andern Quadranten gemessen. Stand das Objekt in großer Nähe des Jupiter, so wurde in zwei zum künstlichen Stern symmetrischen Stellungen gemessen, deren Verbindungslinie nahe senkrecht auf der Verbindungslinie zwischen Objekt und Jupitermittelpunkt stand, sodaß also in diesem Falle der Abstand des Objektes sowohl wie der des künstlichen Sternes vom Jupiterrand nahe derselbe war. Durch dieses Verfahren hoffe ich den regelmäßigen Teil des Einflusses der Erleuchtung von Gesichtsfeld und Netzhaut auf die Messungen praktisch vollständig eliminiert zu haben. Der letztere Beobachtungsmodus wurde schon in einem Abstand von mehreren Jupiterhalbmessern (nicht »Minuten«, wie in A. N. 4000 irrtümlich angegeben ist) vom Jupiterrande angewendet, richtete sich übrigens im einzelnen Falle nach den Umständen, besonders den Luftverhältnissen. Eigentlich hätten die Messungen auch in bezug auf die beobachteten Objekte symmetrisch angeordnet werden sollen, ich habe aber dieses Prinzip nicht mechanisch befolgt, sondern mich von den jeweiligen Umständen (voraussichtliche Gestaltung des Luftzustandes, Ort der Trabanten in ihrer Bahn etc.) leiten lassen. Wenn irgend möglich sind außer den Trabanten Vergleichsterne gemessen worden, die der Potsdamer Durchmusterung entnommen sind.

Die Zahl der Messungen beläuft sich im ganzen auf 518, wovon 337 auf die Trabanten, der Rest auf die Vergleichsterne entfallen. Tafel I am Schluß dieser Abhandlung enthält die Zusammenstellung aller Messungen. Die erste Kolumne gibt das Datum; die zweite die wegen Stand der Uhr korrigierte Sternzeit; die dritte die entsprechende mittlere Berliner Zeit; die vierte das gemessene Objekt, wobei die römischen Ziffern sich auf die Trabanten, die arabischen auf die Nummern der Vergleichsterne im ersten Bande der Potsdamer photometrischen Durchmusterung beziehen; die fünfte die Zenitdistanz; die sechste das Mittel aus den meist vier betragenden Einstellungen des Intensitätskreises; die siebente den $\log \sin^2$ dieses Mittels korrigiert wegen der (mittleren) Extinktion. Die vier folgenden Kolumnen werden später noch eingehender besprochen werden, sie enthalten der Reihe nach die Reduktion auf die mittlere Oppositionsentfernung des Jupiter ($r = 5.2028$, $\Delta = 4.2028$); den Phasenwinkel; die aus Kolumne 7 mit Berücksichtigung von Kolumne 8 berechneten Größen der Trabanten im Anschluß an die Potsdamer Durchmusterung, aus der die Größen für die Vergleichsterne entnommen sind; die Anomalien oder Längen der Trabanten in ihren Bahnen, gerechnet von der geozentrischen oberen Konjunktion aus; endlich die letzte Kolumne enthält Bemerkungen zu den Beobachtungen und zur Reduktion derselben. Die Skala für die Luftbeschaffenheit geht von 1 bis 5, wobei 1 beste, 5 schlechteste Beobachtungsbedingungen bedeuten.

Tafel II enthält die Schätzungen am elfzölligen Bothkamper Refraktor und am Fraunhofer und ist nach dem vorhergehenden ohne weiteres verständlich, Tafel III endlich die Bonner Schätzungen.

III.

Reduktion, Resultate und Untersuchung der Beobachtungen.

Die in Tafel I zusammengestellten Messungen sind zunächst in der gewöhnlichen Weise behandelt worden. Die Zenitdistanzen z sind einer für Bothkamp berechneten Tafel mit den Argumenten t = Stundenwinkel und δ = Deklination entnommen und können um 0°1 fehlerhaft sein; die Extinktion wurde mit dem Argument z aus der mittleren Extinktionstabelle Müllers für Potsdam (Meereshöhe 100 m) genommen. Anfangs war für die Trabanten und diejenigen Vergleichsterne, welche der Spektralklasse II angehören, die Extinktionstafel für α Aurigae (Potsd. Publ. III) benutzt worden, doch ist nachher durchweg die mittlere Extinktion angebracht worden, da es mir zweifelhaft erschien, ob man mit Recht ohne weiteres für Planetenscheiben dieselben Extinktionsverhältnisse annehmen dürfe wie für Fixsternpunkte, und schließlich habe ich es vorgezogen für alle Messungen gleichmäßig ein und dieselbe Extinktionskurve anzunehmen, um die Prüfung der obwaltenden Extinktionsverhältnisse zu erleichtern und eine eventuelle spätere genauere Eliminierung des Einflusses derselben nicht unnötig umständlich zu machen. Es ist oft die Wahrnehmung gemacht worden, daß hier

Digitized by Google

in Bothkamp, dessen Meereshöhe 32 m beträgt, bei größeren Zenitdistanzen die Extinktion sehr merklich stärker war, als sie nach den Potsdamer Tafeln sein sollte, was nicht allein auf den Höhenunterschied zwischen Potsdam und Bothkamp zurückzuführen sein dürfte, vielmehr seinen Grund wohl teilweise in besondern lokalen Verhältnissen, vielleicht auch, wenigstens bei den Trabanten und den gelben Vergleichsternen, in physiologischen Verschiedenheiten zwischen Müller und mir haben wird. Die hieraus entstehende Unsicherheit habe ich möglichst zu beseitigen gesucht, indem ich für die Reduktion längere Messungsreihen in Untergruppen einteilte, die jede für sich reduziert wurden. Die Berechnung der Größen der Trabanten aus den Zahlen der siebenten Kolumne der Tafel I geschah in folgender Weise: Zunächst wurden in jeder Gruppe (welche durch Horizontallinien abgegrenzt sind) mehrfache Messungen desselben Vergleichsternes in ein Mittel vereinigt; wo mehr als drei verschiedene Vergleichsterne vorhanden sind, wurden die Differenzen desselben gegen den schwächsten unter ihnen sowohl aus den Messungen als aus den Potsdamer Katalogen gebildet. Jedes Paar Differenzen liefert eine Gleichung von der Form $x + ay = b$, worin a die in Größenklassen (mit Hilfe des Faktors $\frac{1}{0.4}$) verwandelte gemessene, b die der PD. entnommene Differenz, y den Quotienten $\left(\frac{\text{Potsdamer Größenklasse}}{\text{gemessene Größenklasse}}\right)$, x die Korrektion des gleich null gesetzten schwächsten Vergleichsternes bedeutet. Aus diesen Gleichungen wurden nach der Methode der kleinsten Quadrate x und y bestimmt; die gefundenen Werte sind in der letzten Kolumne von Tafel I mitgeteilt; die mit Hilfe dieser Konstanten bewerkstelligte Berechnung der Trabantenhelligkeiten bedarf keiner weiteren Erläuterung. Die Werte der y seien hier zusammengestellt:

Datum		y	Abweichung vom Mittel
Jan.	7	1.00	+0.04
	19	0.93	−0.03
	22	1.06	+0.10
	23	0.88	−0.08
	31	0.94	−0.02
Febr.	7	0.96	0.00
	9	1.16	+0.20
	20	0.76	−0.20
	21	0.93	−0.03
	26	0.94	−0.02
Mittel		$y = 0.956$	

Es ergibt sich aus diesen Zahlen, daß ich im Durchschnitt eine Helligkeitsdifferenz $\frac{1}{0.956} = 1.046$ mal größer gemessen habe als Potsdam. Im einzelnen schwankt der Wert von y nicht unbeträchtlich um diesen Mittelwert herum, sodaß es notwendig erschien, möglichst für jede Messungsreihe diesen Wert besonders zu ermitteln und anzuwenden. Wo dies nicht möglich war, ist der Wert 1.00 verwendet worden, der ja nur wenig von dem Durchschnittswert verschieden ist. In den Gruppen, in denen weniger als vier verschiedene Vergleichsterne vorhanden sind, ist y aus dem schwächsten und hellsten Vergleichstern, eventuell mit überschlagsweiser Berücksichtigung des dritten, bestimmt, jedoch nur im Falle beträchtlicher Verschiedenheit von 1 sein so gefundener Wert benutzt worden. Auch aus diesen Bestimmungen ergibt sich y im Durchschnitt etwas kleiner als 1. Als Ausgangswert für die Reduktion diente dann das Mittel der Messungen der Vergleichsterne, das dem Mittel der Katalogwerte gleichgesetzt wurde; waren überhaupt keine Vergleichsterne gemessen oder die Messungen derselben infolge der Beobachtungsumstände mit den Trabantenmessungen nicht vergleichbar, so wurden die letzteren mit Hilfe der später besprochenen Lichtkurven der Trabanten in derselben Weise wie dies mit den Schätzungen geschehen ist, reduziert. Die Veränderlichkeit des Wertes y hängt mit der in größeren Instrumenten besonders starken Veränderlichkeit des Aussehens der Sternbilder zusammen, die bei ruhiger Luft als scharfe runde Scheibchen, bei sehr unruhiger Luft dagegen als große strahlige Kleckse erschienen, sodaß eine konstante Auffassung nicht erworben werden konnte. Die Reduktion auf mittlere Oppositionsentfernung des Jupiter berechnet sich nach der Formel $\frac{1}{0.4} \log \frac{a^2 (a-1)^2}{r^2 \Delta^2}$, wo a die mittlere Entfernung des Jupiter von der Sonne, r der Radiusvektor des Jupiter zur Zeit der Beobachtung, Δ die Entfernung von der Erde ist; $\log a^2 (a-1)^2 = 2.6795$. Die zehnte Kolumne der Tafel I enthält die auf die beschriebene Weise berechneten Helligkeiten der Trabanten. Auf andere Weise mußten die Schätzungen behandelt werden, weil bei ihnen keine Bezugnahme auf Vergleichsterne mit bekannter Helligkeit möglich ist. Es wurden die Differenzen der Trabanten I, II und III gegen den gleich null gesetzten Trabanten IV gebildet, sowohl nach den Beobachtungen als vermittels der Anomalien nach den Lichtkurven. Das Mittel der Unterschiede »Kurven — Beobachtung« wurde mit entgegengesetztem Vorzeichen an diese letzteren angebracht und die übrigbleibenden Abweichungen zu den ursprünglichen (in Größenklassen gegebenen) Helligkeiten der Trabanten nach den Kurven addiert. Ein Reduktionsbeispiel ist bei der Besprechung der Beobachtungen von Auwers ausführlich gegeben.

Digitized by Google

Tafel IV enthält die so gewonnenen Resultate der Schätzungen in Bothkamp. Der Stufenwert ist zu $0^{m}.10$ angenommen, da er sich aus der Vergleichung nahe gleichzeitiger Schätzungen und Messungen im Durchschnitt nur wenig davon verschieden ergab, nämlich zu $0^{m}.11$.

Es bleibt noch übrig, den Einfluß der Phase und der Beleuchtung der Trabanten durch Jupiter zu untersuchen und eventuell zu berücksichtigen. Der Phasenwinkel α ist nach der Formel $\sin\frac{1}{2}\alpha = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{(R+\Delta-r)(R+r-\Delta)}{r\Delta}}$ berechnet worden. Die Einwirkung der Phase auf die Helligkeit ergibt sich aus dem Ausdruck:

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{\sin\alpha + (\pi - \alpha)\cos\alpha}{\pi}$$

auf Grund des Lambertschen Beleuchtungsgesetzes, oder aus:

$$\frac{Q}{Q_0} = 1 - \sin\frac{\alpha}{2}\,\mathrm{tg}\,\frac{\alpha}{2}\log\mathrm{cotg}\,\frac{\alpha}{4}$$

nach Seeliger. (Die hier und an anderen Stellen gegebenen photometrischen Formeln sind der »Photometrie der Gestirne« von Müller entnommen resp. Ableitungen aus daselbst gegebenen Formeln). Q ist die Helligkeit bei der Phase α, Q_0 diejenige bei der Phase 0. Nach diesen in Müllers Photometrie tabellierten Ausdrücken würde der Einfluß der Phase für den größten vorkommenden Wert $11^\circ.4$ von α nur $0^{m}.02$ bezw. $0^{m}.04$ betragen, Werte, welche viel zu klein sind, um in den Beobachtungen noch nachgewiesen werden zu können, da dieselben sich über ein Phasenintervall von höchstens $2^\circ.6$ erstrecken. In Wirklichkeit wird nun aber vielleicht das Verhalten der Jupitertrabanten ein anderes sein und ich habe eine Untersuchung hierüber ausgeführt, wenn auch von vornherein wegen des geringen Phasenintervalles kein zuverlässiges Resultat zu erwarten war. Für benachbarte Anomalien und nahe gleiche Phasenwinkel wurden die Mittel der α und der Helligkeiten und dann die Differenzen der α-Mittel untereinander und der entsprechenden Helligkeitsmittel untereinander gebildet:

Für Trabant I ergab sich im Mittel $+0^{m}.003$ für 1° Zunahme von α aus dem mittl. Phasenintervall $9^\circ.4$–$11^\circ.2$; 12 Differenz.
» » II » » » » -0.046 » » » » » » » » » 9.9–11.3; 13 »
» » III » » » » -0.045 » » » » » » » » » 9.5–11.35; 7 »
» » IV » » » » -0.009 » » » » » » » » » 9.8–11.1; 7 »

Negatives Vorzeichen bedeutet, daß die Helligkeit mit wachsendem α abnimmt. Bei Trabant I sind 7 Differenzen negativ, 5 positiv, bei II 10 negativ, 3 positiv, bei III 5 negativ, 2 positiv, bei IV 3 negativ, 4 positiv; im ganzen 25 negativ, 14 positiv. Als Mittel aus allen kommt $-0^{m}.024$ für 1°, Phasenintervall $9^\circ.65$–$11^\circ.25$. Daß dieser Wert keinen Anspruch auf Zuverlässigkeit machen kann und keine Verwendung gefunden hat, bedarf wohl kaum einer Erwähnung. Vorstehende Zahlen lassen nur das eine sicher erkennen, daß der Einfluß der Phase auch bei den Jupitertrabanten sich in den normalen Grenzen hält. Es wäre natürlich interessant, zu wissen, ob die vier Trabanten sich bezüglich der Phase gleich verhalten oder nicht, und ob im letzteren Falle ein Zusammenhang mit dem Charakter der Lichtkurven zu erkennen ist.

Der Einfluß der Beleuchtung der Trabanten durch Jupiter bleibt selbst bei Trabant I stets unter $0^{m}.01$, kann also vernachlässigt werden.

Tafel V enthält die Zusammenstellung aller aus den Bothkamper Beobachtungen abgeleiteten Helligkeitswerte der Trabanten nebst den zugehörigen Anomalien. Diese Helligkeiten sind einer graphischen Darstellung unterzogen worden, indem die zu benachbarten Anomalien gehörenden Helligkeitswerte in ein Mittel vereinigt, und diese Mittel als Ordinaten, die zugehörigen Mittel der Anomalien als Abszissen in ein Millimeternetz eingetragen wurden. Durch die eingezeichneten Punkte wurden dann möglichst anschließende Kurven geführt. Tafel IX gibt eine Reproduktion dieser Kurven zugleich mit den aus den Beobachtungen von Auwers, Engelmann und Pickering in ähnlicher Weise konstruierten. Von dem Netz sind nur die ganzen Zentimeterstriche geblieben; mit Hilfe eines Stückchens durchscheinenden Millimeterpapieres kann man jedoch die Helligkeiten bequem ablesen. Am Fuße der Tafel stehen die Anomalien von 20° zu 20°, an der linken Seite die Helligkeiten in Größenklassen. Die den Bothkamper Kurven zugrunde gelegten Helligkeiten sind ein weniges von den in Tafel V verschieden, weil nach der Konstruktion und Reproduktion der Kurven die Bothkamper Schätzungen einer nochmaligen Reduktion unterzogen wurden. Als einzige bemerkenswerte Veränderung, die sich daraus für die Kurven ergeben würde, ist nur folgende anzuführen: Die Lichtkurve von III müßte von 120° ab einen steilen Abfall bis zur Helligkeit $5^{m}.26$ bei der Anomalie 125° haben und darauf Anstieg bis etwa 140°, wo die eingezeichnete Kurve wieder erreicht wird, sodaß also das nach Engelmann bei 120° stattfindende Helligkeitsminimum durch meine Beobachtungen jetzt entschiedener bestätigt wird als früher. Daß die Lichtkurven eine ausgesprochene Periodizität der Helligkeitsänderungen erkennen lassen, steht wohl außer Frage, ebenso, daß die Perioden gleich den Umlaufszeiten sind.

Es sind noch einige Bemerkungen über die in Bonn gemachten Beobachtungen nötig. Tafel VI enthält die Elemente für die Reduktion derselben, nämlich die Anomalien, die Beobachtungen in der für die Reduktion geeignetsten

Digitized by Google

Schreibweise, wobei Trabant IV stets gleich null gesetzt ist, endlich die entsprechenden, aus den Kurven entnommenen Werte; für die Umsetzung der Beobachtungen in Größenklassen sind für Trabant IV die aus der Lichtkurve entnommenen Helligkeiten selbst gegeben, die in jedem einzelnen Falle gleich null gesetzt zu denken sind. Alle Zahlen sind auf $0\overset{m}{.}05$ abgerundet. Man sieht ohne weiteres, daß die weitere Reduktion dieser Beobachtungen zwecklos sein würde, da die Übereinstimmung mit den Kurvenwerten sehr wenig befriedigend ist. Die Ursache dieser geringen Übereinstimmung, die nicht in dem Verhalten der Trabanten gesucht werden kann, da die Bonner Beobachtungen nahe gleichzeitig mit den Bothkamper stattgefunden haben, ist offenbar in dem Mangel jeglicher Vorsichtsmaßregeln bei der Beobachtung gelegen. Es wurde meist bei völliger Dunkelheit, ohne Abblendung des Jupiter geschätzt, was bei der schwachen Vergrößerung des Fernrohres von verderblicher Wirkung war. Ich mache noch auf einen Umstand aufmerksam, der uns noch weiterhin bei den älteren Beobachtungen beschäftigen wird: Trabant IV ist an dem kleinen Fernrohr im Durchschnitt beträchtlich heller geschätzt worden als am Bothkamper elfzölligen Refraktor.

Die bisher angewandte Berechnung der Anomalien oder Längen der Trabanten in ihren Bahnen, gerechnet von der oberen geozentrischen Konjunktion aus (für welche die Annomalie null ist), bedarf einer genauen Betrachtung. Das Berliner Jahrbuch gibt für jeden Trabanten die Zeiten der geozentrischen oberen Konjunktionen auf zehntel Minuten, also für die vorliegenden Zwecke völlig hinreichend genau, da Trabant I in einer Minute erst $0\overset{\circ}{.}14$ in seiner Bahn zurückgelegt und $0\overset{\circ}{.}1$ die höchste noch erstrebenswerte Genauigkeit für die Anomalien ist; in den meisten, jedoch nicht in allen Fällen kommt man mit Werten aus, deren Unsicherheit nicht über 1°–2° beträgt. Berechnet man nun für eine ungefähr in der Mitte zwischen zwei geozentrischen oberen Konjunktionen liegende Beobachtungszeit mit der mittleren synodischen Umlaufszeit die für diese Zeit geltende Anomalie des Trabanten, so kann man, jenachdem man von der vorausgehenden oder der nachfolgenden Konjunktion ausgeht, bei den Trabanten III und IV auf ziemlich beträchtlich verschiedene Werte kommen, wenn gerade die Zwischenzeit zwischen den beiden Konjunktionen von der mittleren synodischen Umlaufszeit sehr verschieden ist. Die hieraus entstehenden Fehler in den Anomalien können bei I etwa $\pm 0\overset{\circ}{.}2$, bei II $\pm 0\overset{\circ}{.}4$, bei III $\pm 0\overset{\circ}{.}9$, bei IV $\pm 2\overset{\circ}{.}0$ erreichen, sodaß zwei in Wirklichkeit gleiche Anomalien bis zum doppelten Betrag dieser Werte voneinander differieren können. Diese Unsicherheit läßt sich leicht vermeiden, wenn man statt der mittleren synodischen Umlaufszeit die jeweiligen Zwischenzeiten zwischen den beiden Konjunktionen verwendet, wofür sich mit geringer Mühe bequeme Tafeln konstruieren lassen, die für die Trabanten II, III und IV auf Tafel A am Schluß der Abhandlung gegeben sind. In den Kolumnen links steht als Argument die stets von der vorhergehenden oberen Konjunktion zu rechnende Zwischenzeit zwischen dieser und der Beobachtungszeit, das Argument über den Tafeln ist die Abweichung der Zwischenzeit zwischen den beiden die Beobachtung einschließenden oberen Konjunktionen von der mittleren synodischen Umlaufszeit U. Mit diesen beiden Argumenten findet man in den einzelnen Täfelchen die Korrektion des ersten Argumentes, die positiv ist, wenn die Zwischenzeit zwischen den beiden Konjunktionen kleiner als die mittlere synodische Umlaufszeit ist und umgekehrt. Mit dem so korrigierten Argument entnimmt man dann aus Tafel B die Anomalie. Die so erzielte scheinbare Genauigkeit ist aber in Wirklichkeit viel geringer. Die Anomalien sollen ja nichts anderes als die Rotationsbewegung darstellen, unter der Voraussetzung, daß die Rotationsdauer gleich der mittleren Umlaufszeit ist; nun ist aber die Bewegung der Trabanten in ihren Bahnen Einflüssen ausgesetzt, die ihre Gleichmäßigkeit stören und die in der Rotationsbewegung nicht vorhanden sind, nämlich dem Einfluß der Exzentrizität der Bahnen und den Störungen sowohl der Trabanten untereinander, als der Sonne auf diese etc., sodaß die Trabanten an denselben Stellen ihrer Bahnen der Erde nicht immer genau dieselbe Seite zuwenden (wenn man von den durch die Bewegung des Jupiter und der Erde in ihren Bahnen verursachten Verschiebungen absieht). Es tritt eine der optischen Libration (in Länge) des Erdmondes ganz analoge Schwankung um einen mittleren Zustand auch für den geozentrischen Standpunkt auf, deren Größe von derselben Ordnung ist, wie die zuvor besprochene durch Vernachlässigung der Veränderungen der synodischen Umlaufszeiten entstehenden Fehler. Der aus der Exzentrizität der Bahn für die Darstellung der Rotationsbewegung entstehende Fehler kann bei Trabant IV im Maximum mehr als $\pm 0\overset{\circ}{.}8$ betragen und die von den mittleren Längen des II. und III. Trabanten abhängenden Störungen für Trabant II erreichen den Betrag von $\pm 1\overset{\circ}{.}1$ im Maximum. Legt man also der Berechnung der Rotationsbewegung die geozentrischen oberen Konjunktionen des B. J. zugrunde, so hat man Ungenauigkeiten von dieser Ordnung zu erwarten, sodaß für gewisse Fälle ein anderer Weg für die Berechnung der Rotationsphasen eingeschlagen werden mußte. Offenbar kann man für photometrische Beobachtungen von Helligkeiten, die von der Lage gewisser Flecke auf den Trabantenscheiben abhängen, ein ähnliches Verfahren anwenden, wie man zur Reduktion von Messungen auf Planetenoberflächen benutzt. Von der Bewegung der Trabanten um ihren Zentralkörper kann abgesehen werden und es braucht nur die Bewegung mit diesem um die Sonne berücksichtigt zu werden. Es wurde angenommen, daß die wahre Rotationsdauer des Trabanten genau gleich der siderischen Umlaufszeit und daß die Neigung des Trabantenäquators gegen die Ekliptik null sei. Ist nun E_0 die Ausgangsepoche für die Rechnung, für welche die Länge des Zentralmeridianes der Trabantenscheibe gleich null gesetzt wurde, A die Differenz der heliozentrischen und geozentrischen Länge des Jupiter, sind ferner l_0 und l die heliozentrischen Längen des Jupiter für die Epochen E_0 und E, beide auf dasselbe Äquinoktium bezogen, M die mittlere siderische tägliche Bewegung des Trabanten in der Bahn, μ dieselbe Bewegung in der Minute, γ die Lichtgleichung bestimmt durch die Gleichung: $\gamma = 8\overset{m}{.}3\,(5.203 - \Delta)\cdot\mu$, wo Δ die Entfernung Jupiter–Erde ist, endlich φ die Rotationsphase, welche für E_0 null sein soll, so hat man:

$$\varphi = (E - E_0)\cdot M + A + (l_0 - l) + \gamma\ .$$

Digitized by Google

μ, M, A, $l_0 - l$, γ sind in Graden auszudrücken. Statt A kann man bei großem Phasenwinkel, wie es für unsere Zwecke meist der Fall sein wird, auch diesen nehmen wegen der geringen Neigung der Jupiterbahn gegen die Ekliptik; dabei ist α vor der Opposition des Jupiter negativ, nach der Opposition positiv zu nehmen. Es ist bequem, die Ausgangsepochen so zu wählen, daß die φ sich nahe an die oberen geozentrischen Konjunktionen des B. J. anschließen. Ich habe späterhin für Trabant II folgende Elemente angewandt, zu denen ich diejenigen der übrigen Trabanten hinzufüge:

	Sid. Umlaufszeit	μ	M
Trabant I	$= 1^{d}769137789$	$= 0^{\circ}1413$	$= 203^{\circ}489$
» II	» 3.551181019	0.0704	101.375
» III	» 7.154552778	0.0349	50.318
» IV	» 16.689019340	0.0150	21.571

	E_0		Jul. Tag	l_0	
Trabant I	$= 1905$ Jan. $2^{d}19^{h}33^{m}6$ M. Z. Berlin	=	2416848.81500	$= 32^{\circ}19$	Äqu. 1910.0
» II	» 2 6 0.0	»	48.25000	32.14	
» III	» 2 22 19.2	»	48.93000	32.20	
» IV	1904 Dez. 31 10 23.5	»	46.43300	31.98	

Es sei mir gestattet, darauf hinzuweisen, daß die Reduktion wegen A resp. α und l nur dann richtig ist, wenn die Voraussetzung, daß die Neigung des Trabantenäquators gegen die Ekliptik null ist, nicht allzu sehr von der Wirklichkeit abweicht. Ist dies aber der Fall, so werden die Helligkeitsphänomene Schwankungen zeigen, sowohl bezüglich der Zeit ihres Eintreffens als ihres Verlaufs, welche von A und l abhängen. Da die Schwankungen der Zeiten jedenfalls sehr klein sind, so bedarf man zu ihrer Untersuchung der genaueren Werte für die Rotationsphasen. Ich werde auf diesen Punkt noch später zu sprechen kommen. Für den Gebrauch enthält Tafel C die Multipla der siderischen Umlaufszeiten der Trabanten.

Ich gehe nun dazu über, die Genauigkeit der Bothkamper Beobachtungen zu untersuchen; einige hierhin gehörende Angaben sind schon vorher gemacht worden, diese werde ich deshalb hier bei Seite lassen. Die Ausgleichungen der Vergleichsternmessungen liefern ein Mittel, sich ein Urteil über die Fehler der Messungen, soweit sie zufälliger Natur sind, zu bilden. Die folgende Zusammenstellung enthält die nach den Ausgleichungen übrigbleibenden Abweichungen Bothkamp — Potsdam für die einzelnen Vergleichsterne; die Zahlen in Klammern bedeuten die Anzahl der zusammengefaßten Messungen desselben Vergleichsterns innerhalb einer Gruppe von Messungen, unter »Mittel« stehen die mit Berücksichtigung der der Anzahl der Messungen gleichgesetzten Gewichte gebildeten Mittelwerte der Abweichungen. Stern 75 scheint etwas anders von mir aufgefaßt worden zu sein als in Potsdam, jedoch ist dies belanglos, da der Stern stets mit mehreren anderen Vergleichsternen zusammen vorkommt. Eine Veränderlichkeit ist wohl bei keinem der Vergleichsterne wahrscheinlich.

Stern	Bothkamp — Potsdam										Mittel
143	$0^{m}00$ (1)	$-0^{m}05$ (1)	$-0^{m}10$ (1)	$+0^{m}03$ (1)	$0^{m}00$ (1)	—	—	—	—	—	$-0^{m}02$
160	+0.07 (1)	−0.03 (1)	+0.16 (1)	−0.03 (1)	−0.04 (1)	—	—	—	—	—	+0.03
134	−0.09 (1)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	−0.09
140	+0.03 (1)	−0.09 (1)	+0.04 (1)	+0.11 (1)	+0.10 (2)	$+0^{m}07$ (2)	$+0^{m}05$ (2)	$+0^{m}02$ (1)	—	—	+0.05
159	—	+0.22 (4)	+0.05 (3)	+0.06 (4)	+0.13 (2)	0.00 (5)	+0.05 (5)	+0.01 (2)	$-0^{m}09$ (1)	$-0^{m}05$ (1)	+0.06
196	—	−0.06 (1)	—	—	—	—	—	—	—	—	−0.06
75	—	0.00 (1)	−0.16 (1)	−0.16 (1)	−0.17 (1)	+0.03 (1)	−0.15 (2)	—	—	—	−0.11
131	—	—	—	—	—	−0.10 (1)	+0.05 (1)	−0.07 (1)	0.00 (1)	−0.01 (1)	−0.03
207	—	—	—	—	—	—	—	−0.03 (1)	+0.07 (1)	−0.02 (2)	0.00
176	—	—	—	—	—	—	—	+0.06 (2)	+0.01 (1)	+0.03 (2)	+0.04
177	—	—	—	—	—	—	—	—	+0.03 (1)	+0.03 (2)	+0.03

Faßt man die Mittelwerte sowie die einzelnen Abweichungen als unter sich (abgesehen von den Gewichten) gleichartige Größen auf, so liefern die Differenzen dieser Abweichungen gegen die Mittel den mittleren Fehler einer Messung nach der Formel $m = \pm\sqrt{\frac{p\,vv}{n-1}}$ zu $\pm 0^{m}066$. Aus den Differenzen gegen die Potsdamer Katalogwerte, deren mittlerer Fehler $\pm 0^{m}060$ beträgt, erhält man, wenn man die Genauigkeit eines Bothkamper Wertes der Einfachheit halber genau gleich der jener setzt, vermittels der Formel $m = \pm\sqrt{\frac{p\,dd}{2(n-1)}}$ den mittleren Fehler $\pm 0^{m}062$. Diese Werte beziehen sich natürlich nur auf die Vergleichsternmessungen. Mit den aus Messungen abgeleiteten Helligkeitswerten der Trabanten verhält es sich etwas verschieden, je nachdem man nur Messungen desselben Abend, die zu benachbarten Anomalien gehören, oder nur Messungen verschiedener Abende (bei benachbarten Anomalien), miteinander vergleicht. Bildet man aus den Helligkeiten der Trabanten, welche aus Messungen desselben Abend erhalten worden sind und sich auf genügend benachbarte Anomalien beziehen, sodaß merkliche Helligkeitsänderungen in der Zwischenzeit nicht zu befürchten sind, Mittelwerte, so kann man diese und die Einzelwerte unter sich wieder als gleichartige Größen

Digitized by Google

V.

Gesetzmäßigkeit der Helligkeitsbewegungen der Trabanten. Die Lichtkurven. Größte, mittlere, kleinste Helligkeit, Albedowerte.

Nachdem alles erledigt ist, was bezüglich der Bothkamper Beobachtungen zu sagen nötig ist, um ein sicheres Urteil über dieselben bilden zu können, möge nun zur Besprechung der Ergebnisse übergegangen werden, welche aus ihnen gezogen werden können, wobei die schon vorher gelegentlich gemachten Angaben der Vollständigkeit wegen hier nochmals Platz finden werden. Zunächst ist ein Zweifel an der Gesetzmäßigkeit der Helligkeitsschwankungen bei allen vier Trabanten nicht wohl mehr aufrecht zu erhalten: es variieren die Trabantenhelligkeiten innerhalb Perioden, die gleich den Zeiten sind, in welchen die Trabanten einen Umlauf um Jupiter vollenden. Erkennt man den Zusammenhang zwischen dem Lichtwechsel und der Rotationsbewegung an, so folgt daraus also die Gleichheit von Rotations- und Revolutionszeit. Die mittleren Lichtkurven, wenn sie aus Beobachtungen von hinreichend großer Zahl und hinreichend langen Zeiträumen zusammengesetzt sind *), müssen als wahrscheinlich unveränderlich betrachtet werden. Von Fall zu Fall dagegen ist der Verlauf der Helligkeitsschwankungen bei Trabant I mit ziemlicher Sicherheit, bei II und III wahrscheinlich unregelmäßigen, kurz dauernden Störungen unterworfen, deren Beträge jedoch gegenüber den regelmäßigen Veränderungen der Helligkeit klein zu bleiben scheinen. Betreffs Trabant II wird später noch von einer vereinzelt stehenden großen Veränderung der Lichtkurve die Rede sein, welche wahrscheinlich mit den hier behandelten nichts zu tun hat, d. h. auf andere Ursachen hinweist als diese. Bei Trabant IV kommen entweder gar keine oder nur solche Störungen der Lichtkurve in Frage, die innerhalb weit geraumerer Zeit sich abspielen und dann ebenfalls auf andere, gesetzmäßige Ursachen hinweisen würden. Darf man die unregelmäßigen Helligkeitsbewegungen auf das Vorhandensein von Atmosphären auf den Trabanten und die wechselnde Häufigkeit der Kondensationsprodukte in denselben zurückführen, so ist dieses Resultat vom Standpunkt der Kant-Laplaceschen Weltentwicklungstheorie bemerkenswert, indem es darauf hinweisen würde, daß auf dem I. Trabanten, der nach ihr der jüngste ist, noch eine ziemlich merkliche Atmosphäre vorhanden, daß dagegen bei dem ältesten, dem IV., aus den Beobachtungen zu schließen, die Atmosphäre schon sehr reduziert ist **). Da die vier Trabanten nicht allzusehr verschieden an Masse sind [die kleinste Masse (I) verhält sich zur größten (III) wie 1 : 5], so konnte man allerdings vom Standpunkte der Kant-Laplaceschen Theorie aus von vornherein erwarten, daß der äußerste der Monde das am weitesten vorgeschrittene, der innerste das jüngste Entwicklungsstadium repräsentieren würde. Von reellerem Werte ist jedoch vorläufig die bloße Betrachtung des Gegebenen: Die größten (regelmäßigen) Helligkeitsschwankungen weist Trabant II auf, dessen Größe zwischen den runden Grenzen $5^m.2$ und $6^m.2$ variiert, dann folgen I und III mit nahe gleichen Amplitüden von etwa $0^m.7$, und an letzter Stelle steht IV mit $0^m.36$. Parallel damit ist das Verhalten des Lichtwechsels in bezug auf die Schnelligkeit der regelmäßigen Helligkeitsänderungen, die am größten bei II, etwas geringer bei I und III ist, während IV ganz abweichend davon nur langsame Veränderungen zeigt. Der allgemeine Charakter der Lichtkurven ist bei I, II und III gleich, bei IV abweichend. Die Ähnlichkeit der Lichtkurven der drei ersten Trabanten geht so weit, daß stellenweise ganz ähnliche Maxima und Minima auf nahe dieselben Anomalien fallen. Bemerkenswert ist, daß die Trabanten sich bezüglich ihrer Färbungen ebenso gruppieren, indem die drei ersten unter sich sehr ähnlich gefärbt sind, während Trabant IV eine schwer zu definierende blaugraue Färbung auf gelbem Untergrund besitzt. Bezüglich der extremen und mittleren Helligkeiten ergibt sich folgendes:

	Trabant I	Trabant II	Trabant III	Trabant IV
Größte Helligkeit	$5^m.15$	$5^m.16$	$4^m.69$	$6^m.09$
Kleinste »	5.85	6.18	5.41	6.45
Mittlere »	5.54	5.65	5.07	6.27

Von Interesse sind ferner noch die Helligkeiten der Trabanten während ihrer Vorübergänge vor der Jupiterscheibe; natürlich können dieselben aus dem vorliegenden Material nur angenähert ermittelt werden, unter der Voraussetzung, daß die Lichtkurven den vor und nach der unteren Konjunktion angezeigten Verlauf auch während desselben innehalten. Es werden dann folgende Werte gefunden:

Anom.	Trab. I	Anom.	Trab. II	Anom.	Trab. III	Anom.	Trab. IV
170°	$5^m.55$	174°	$5^m.8$	176°	$5^m.4$		
180	5.7	180	5.8	180	5.4	180°	$6^m.45$
190	5.8	186	5.8	184	5.35		

Für diese Helligkeiten berechnen sich auf Grund des Lommel-Seeligerschen Beleuchtungsgesetzes die entsprechenden Albedowerte nach der Formel $A = 2\,M \cdot \frac{\sin^2 S}{\sin^2 s \sin^2 \sigma}$, worin A die Albedo, M das Helligkeitsverhältnis von Trabant zu Sonne, S der scheinbare Halbmesser der Sonne von der Erde aus gesehen, s ebenderselbe vom Trabant aus gesehen, σ der scheinbare Halbmesser des Trabanten von der Erde aus gesehen, bedeutet, folgendermaßen:

*) Auch muß stets beachtet werden, daß die wechselnde Stellung des Systems Sonne-Erde-Jupiter von Einfluß auf die Gestalt der Lichtkurven sein kann, und daß daher streng genommen nur Beobachtungen miteinander vergleichbar sind, die zu nicht sehr verschiedenen Phasenwinkeln und Bahnlängen des Jupiter gehören.

**) Man vergleiche Engelmann: Über die Helligkeitsverhältnisse der Jupiterstrabanten, Seite 65.

Digitized by Google

	Trabant I	Trabant II	Trabant III	Trabant IV
Größte Albedo	1.09	1.56	0.80	0.25
Kleinste »	0.57	0.61	0.41	0.18
Mittlere »	0.76	0.99	0.56·	0.21

und für die Vorübergänge vor der Jupiterscheibe:

Anom.	Trab. I	Anom.	Trab. II	Anom.	Trab. III	Anom.	Trab. IV
170°	0.76	174°	0.86	176°	0.42		
180	0.66	180	0.86	180	0.42	180°	0.18
190	0.60	186	0.86	184	0.44		

Die Albedo des Jupiter ist 0.82 nach Seeligers Definition. Die Halbmesser der Trabanten sind nach Barnard angenommen. Die Albedowerte, welche in A. N. 4023 gegeben sind, und welche dort »relative« (Jupiteralbedo = 1) genannt wurden, unterscheiden sich von den hier gegebenen absoluten Werten, denen der Wert $-26^m.60$ (nach Zöllner) für die Sonnenhelligkeit zugrunde liegt, abgesehen davon, daß die Trabantenhelligkeiten teilweise geringe Änderungen erfahren haben, auch durch die abweichende Berechnungsart, indem nämlich angenommen wurde, daß die Helligkeiten bei gleicher Albedo proportional den Inhalten der leuchtenden Scheiben seien. Hierdurch entstehen Unterschiede von einigen Einheiten in der zweiten Stelle. Bei II ist leider in A. N. 4023 ein Versehen bezüglich des Durchmessers gemacht worden, wodurch die dort gegebenen Albedowerte des Trabanten sämtlich etwas zu groß geworden sind. Vergleicht man die Albedowerte der Trabanten zunächst mit der in gleicher Weise berechneten Jupiteralbedo, so geht aus ihnen hervor, daß Trabant II während des Vorüberganges vor der Jupiterscheibe eine größere Flächenhelligkeit besitzt, als Jupiter im Durchschnitt, wodurch sich die Tatsache, daß II stets helle Vorübergänge zu haben scheint, zwanglos erklärt. Bei Trabant I ist die Albedo beim Eintritt nur unbedeutend geringer und nimmt dann schnell ab, doch sinkt sie nicht sehr beträchtlich unter die Jupiteralbedo herunter. Beim Vorübergang präsentiert er sich gewöhnlich als grauer, mehr oder weniger dunkler Fleck; es wäre von Interesse festzustellen, ob die Übergänge vom hellen zum dunkeln Fleck und umgekehrt zur Mitte des Durchgangs merklich asymmetrisch stattfinden. Nicht selten bleibt der Trabant auch während des ganzen Durchgangs hell. Bei Trabant III findet, trotzdem seine Albedo beim Vorübergang nur die Hälfte der Jupiteralbedo ist, ebenfalls ein Wechsel zwischen hellen und dunkeln Vorübergängen statt, offenbar deshalb, weil dieser Trabant sich weiter von der Mitte der Jupiterscheibe entfernen kann als die beiden inneren, sodaß er öfter über dunklere Teile des Planeten hinwegzieht. Trabant IV hat stets dunkle Vorübergänge und er erscheint in hinreichender Entfernung vom Jupiterrande geradezu als vollkommen schwarzer Fleck. Dieses Verhalten der vier Trabanten hat demnach im Vergleich mit ihren Albedowerten für die Umgebung der Anomalie 180° und in Anbetracht der stark wechselnden Werte für die verschiedenen Stellen der Jupiterscheibe nichts Auffallendes.

Betrachten wir nun die Albedowerte für die Maximalhelligkeiten, so muß zunächst auffallen, daß dieselben bei Trabant I und noch mehr bei II ganz außerordentlich groß sind. Da sie die Einheit übersteigen, so würden sie anzeigen, daß diese beiden Trabanten auf ihren Oberflächen stellenweise noch Eigenlicht besitzen, und diese Eigenlichtentwicklung müßte bei II sogar als eine sehr beträchtliche angenommen werden. Daß dies sehr unwahrscheinlich ist, bedarf wohl keiner Erörterung; schließt man aber Eigenlichtentwicklung aus, so wird man vor die Alternative gestellt, entweder die der Berechnung der Albedowerte zugrunde gelegte Theorie oder die angenommene Sonnenhelligkeit anzuzweifeln. Ersteres ist natürlich zunächst so zu verstehen, daß die Voraussetzungen physikalischer Natur, auf welchen die Lommel-Seeligersche Beleuchtungstheorie sich aufbaut, bei unseren Trabanten auch nicht annähernd erfüllt sind. (Die Albedo nach Lamberts Definition beträgt $^3/_4$ von der Seeligerschen Albedo, würde also für Trabant II ebenfalls größer als 1 sein, ganz abgesehen davon, daß das ihr zugrunde liegende Lambertsche Beleuchtungsgesetz auf einer durchaus unzulässigen Voraussetzung über die Beschaffenheit der zerstreuten Reflexion aufgebaut ist.) Es ist ja ohne weiteres klar, daß die Beleuchtungstheorien um so mehr von der Wirklichkeit abweichen werden, je weniger ihre wesentlichste Voraussetzung, vollkommen diffuse Reflexion, erfüllt ist. Nun werden wir später sehen, daß allerdings bei den Trabanten I, II und III die Möglichkeit zugegeben werden muß, daß außer diffuser Reflexion auch noch Spiegelung vorhanden ist. Die zweite mögliche Ursache für die Fehlerhaftigkeit der Albedowerte, die nicht nur für die Trabanten I, II und III, sondern auch für Venus, Vesta, Jupiter, Saturn und Uranus beträchtlich hohe, teilweise über 1 liegende Beträge erreichen, ist ein zu niedriger Wert für die Sonnenhelligkeit, und sie ist zum mindesten als ebenso wahrscheinlich anzusehen als die erstere. Vielleicht sind beide Fehlerquellen für die Albedowerte miteinander verquickt. Man sieht, daß aus der Albedo eines Planeten, welche aus dem Helligkeitsverhältnis desselben zur Sonne gefunden wird, keine Schlüsse auf die physikalische Beschaffenheit seiner Oberfläche gezogen werden können, so lange nicht neue Bestimmungen der Sonnenhelligkeit vorliegen, welche dieselbe bis auf etwa $0^m.1$ sicherstellen.

VI.
Ältere Beobachtungen.

Es liegt eine ziemlich große Zahl von Beobachtungen der Helligkeiten der Jupitertrabanten vor, eine vollständige Übersicht findet sich in Müllers »Photometrie der Gestirne« Seite 385 ff. Von diesen scheiden jedoch die meisten für

Digitized by Google

die vorliegende Bearbeitung aus, teils weil sie, wie die Herschelschen und Schröterschen einer Zeit entstammen, in der die photometrische Praxis noch zu unvollkommen war, teils weil ihre Genauigkeit aus anderen Gründen nicht denjenigen Grad erreicht, der hier verlangt werden muß. Einige Beobachtungsreihen habe ich nicht einsehen können, nämlich die von Flaugergues, Dennett und die Keilphotometermessungen von Spitta, welche letzteren nicht in extenso veröffentlicht worden zu sein scheinen.

Ich werde zunächst die vollständigsten und genauesten Beobachtungsreihen, die von Auwers, Engelmann und Pickering besprechen und dann die übrigen, soweit sie noch Beiträge zur Kenntnis des Lichtwechsels der Trabanten liefern.

Die Beobachtungen von Auwers.

Auwers hat eine große Zahl von Vergleichungen der Trabanten untereinander, indem er ihre Helligkeitsunterschiede nach Argelanders Methode durch Stufen ausdrückte, in dem Zeitraum November 1858 bis Mai 1860 angestellt. Ganz vereinzelt sind Vergleichungen mit nahestehenden Fixsternen vorhanden, die ich jedoch außer acht gelassen habe. Der Wert dieser Beobachtungsreihe liegt nicht nur in der augenscheinlichen Genauigkeit der Schätzungen, sondern vor allem auch in ihrer großen Vollständigkeit. An Instrumenten wurden benutzt ein 6-füßig. Fraunhofer (Göttingen) und das Königsberger Heliometer; bei beiden wurde die außerordentlich wichtige Vorsichtsmaßregel angewandt, das Bild des Jupiters zu verdecken, sodaß der weitaus größte und gefährlichste Teil des Einflusses von Jupiter, die Erhellung der Netzhaut, unschädlich gemacht worden ist. An dem 6-füßig. Fraunhofer wurde meist mit 42-facher, an dem Heliometer meist mit 65-facher Vergrößerung beobachtet. Außerdem sind noch Schätzungen an einem $2^1/_2$-füßig. Kometensucher vorhanden, bei denen Jupiter nicht abgeblendet worden ist. Die letzteren habe ich allein behandelt. Die Originalbeobachtungen finden sich in Engelmanns Abhandlung über die Jupitertrabanten, ebendort ist eine graphische Darstellung der aus den Helligkeiten berechneten Albedowerte gegeben, jedoch keine Zusammenstellung der aus den Beobachtungen hergeleiteten Helligkeiten selbst. Zur Reduktion der Beobachtungen von Auwers ist ein Verfahren gewählt worden, das die Konstanz der mittleren Lichtkurven zur Voraussetzung hat, ohne daß jedoch bei Nichterfüllung dieser Voraussetzung in die Beobachtungen durch das Reduktionsverfahren Gesetzmäßigkeiten hineingebracht werden können, die denselben an sich fremd sind. Das Verfahren, welches mit geringen Modifikationen bei allen Beobachtungsreihen (auch bei den Bothkamper Schätzungen) Anwendung gefunden hat, möge an einem Beispiel erläutert werden, wobei vorausgreifend zu bemerken ist, daß Auwers den Trabanten IV nahe konstant um $0^m.60$ heller geschätzt hat als er nach den photometrischen Messungen sich ergibt und ferner, daß der Wert einer Auwersschen Stufe nahezu $0^m.10$ beträgt. Werden diese nachher zu besprechenden Reduktionskonstanten benutzt, so ist der Gang der Reduktion folgender:

Auwers beobachtete 1858 Nov. 19 III 3 II 0.5 IV 0.3 I.

Bringt man an IV die Korrektion $-0^m.60$ an, setzt ihn gleich $0^m.00$ und verwandelt die Stufen in Größenklassen, so ist:

$$IV = 0^m.00 \quad I = 0^m.57 \quad II = 0^m.65 \quad III = 0^m.95.$$

Die zu der Beobachtungszeit gehörenden Anomalien der Trabanten sind:

$$I\ 15^\circ \quad II\ 147^\circ \quad III\ 126^\circ \quad IV\ 228^\circ;$$

zu diesen Anomalien findet man aus den Bothkamper Kurven, wie die der Abhandlung angehängten Reproduktionen sie geben, mit Berücksichtigung der nachträglichen Änderung der Lichtkurve von III zwischen 120° und 140°, folgende Helligkeiten der Trabanten:

$$I = 5^m.90 \pm \quad II = 5^m.54 \quad III = 5^m.33 \quad IV = 6^m.30.$$

In Wirklichkeit sind jedoch der Reduktion dieser sowohl, wie der anderen Beobachtungsreihen andere ältere Kurven zugrunde gelegt worden; in diesem Falle ergaben dieselben:

$$I = 5^m.90 \pm \quad II = 5^m.54 \quad III = 5^m.10 \quad IV = 6^m.32 \quad \text{oder} \quad IV = 0^m.00 \quad I = 0^m.42 \quad II = 0^m.78 \quad III = 1^m.22.$$

Abweichungen Kurve — Beobachtung:

$$IV = 0^m.00 \quad I = -0^m.15 \quad II = +0^m.13 \quad III = +0^m.27,$$

im Mittel $+0^m.06$; bringt man diesen Wert mit entgegengesetztem Vorzeichen an die Abweichungen an, so folgt:

$$IV = -0^m.06 \quad I = -0^m.21 \quad II = +0^m.07 \quad III = +0^m.21;$$

diese Zahlen sind algebraisch zu den Kurvenwerten hinzuzufügen und somit werden die beobachteten Helligkeiten:

$$IV = 6^m.26 \quad I = 5^m.69 \quad II = 5^m.61 \quad III = 5^m.31.$$

Wollte man die Bothkamper Kurven in der letzten Fassung zugrunde legen, so würde für III ein merklich anderer Kurvenwert zu nehmen sein, nämlich $0^m.99$, der mit Auwers Beobachtung bedeutend besser übereinstimmt. Es würden sich dann folgende Helligkeiten ergeben: $IV = 6^m.30$, $I = 5^m.73$, $II = 5^m.65$, $III = 5^m.37$, also nicht sehr von den ersten verschieden. Da überhaupt durch Einführung der letzten Kurven die Änderungen der Helligkeiten nur geringfügig ausfallen, so habe ich vorläufig, solange die Lichtkurven selbst noch mit Unsicherheiten von mindestens dieser Größenordnung behaftet sind, Abstand von einer Wiederholung der Reduktion der älteren Beobachtungen

Digitized by Google

genommen. Es scheint jedoch, daß eine noch bedeutend bessere Darstellung der Beobachtungen zu erhoffen ist. Was nun die Beobachtungen von Auwers insbesondere anbetrifft, so sind folgende Angaben darüber nötig: aus den Differenzen der drei inneren Trabanten gegen IV ergab sich, daß der letztere, verglichen mit den Bothkamper Kurven, um $0^m.60$ zu hell geschätzt worden ist, ferner daß der Wert einer Auwersschen Stufe im Durchschnitt sehr nahe gleich $0^m.10$ gewesen sein muß. Letzterer Wert ist fast durchweg zur Reduktion benutzt worden. Der große Betrag der Auffassungsdifferenz für Trabant IV zwischen Auwers und den photometrischen Reihen ist nicht auffallend, da auch die Schätzungen anderer Beobachter ähnliche Unterschiede aufweisen. Als Gründe dafür, daß es sich nicht um eine Änderung der mittleren Helligkeit des Trabanten handeln kann, führe ich an, erstens daß der nahe parallele Gang der Auwersschen und Bothkamper Lichtkurve eine so große Zustandsänderung auf dem Trabanten unwahrscheinlich macht; zweitens daß nach Engelmanns und Pickerings Messungen 1870 resp. 1877–78 der Trabant nahe dasselbe Helligkeitsverhältnis zu den anderen Trabanten gehabt hat wie 1904–05, drittens daß während dieser letzteren Zeit meine Bonner Schätzungen den Trabanten ebenfalls beträchtlich zu hell ergaben. Es kann sich aber auch nicht um den Einfluß des Jupiter auf die Schätzungen handeln, wie Engelmann annahm, denn dann müßte dieser Effekt doch einen Gang nach den Entfernungen der Trabanten vom Planeten zeigen, während im Gegenteil den drei inneren Trabanten in Auwers' Beobachtungen sehr nahe dieselben mittleren Helligkeitsverhältnisse zukommen wie in den Bothkamper Messungen. Die Ursache des Auffassungsunterschiedes muß demnach wohl in der Beschaffenheit des Lichtes oder in dem Anblick der Scheibe des Trabanten gesucht werden. Beide können in der Tat zu beträchtlichen Auffassungsunterschieden Veranlassung geben, indem sowohl die Farbe nicht unbeträchtlich von den Farben der drei anderen Trabanten abweicht und überhaupt eine von den gewöhnlichen Sternfarben verschiedene ist, als auch, vielleicht als Folge davon, die Scheibe bei IV weniger scharf geschnitten erscheint als bei I, II oder III. Es ist ja offenbar, daß die eigentümliche Färbung, in der ein blauer Ton vorherrscht, das diffuse und relativ schlecht begrenzte Aussehen des Trabanten, von dem viele Beobachter sprechen, verursacht, wegen der für stärker brechbare Strahlen meist mangelhafteren Achromasie der Objektive. Nun ist es aber eine bekannte Tatsache, daß ausgedehntere Lichtquellen gegenüber konzentrierteren leicht überschätzt werden. Ich habe die Quelle der Differenz nicht weiter verfolgt, nachdem mir die Überzeugung gekommen war, daß sie nicht in wirklichen Zustandsänderungen des Trabanten bestehen könne.

Die aus Auwers' Beobachtungen an den beiden größeren Instrumenten gefundenen Helligkeitswerte der Trabanten sind in Tafel VII zusammengestellt; dieselben wurden ebenso wie die Bothkamper Beobachtungen graphisch dargestellt und zwar zum bequemeren Vergleichen in demselben Koordinatennetz (Tafel IX).

Die Beobachtungen am $2^1/_2$-füßig. Kometensucher habe ich ebenfalls bearbeitet. Die Korrektion für IV ist nahe dieselbe und wurde ebenfalls zu $0^m.60$ angenommen. Der Stufenwert ergab sich jedoch merklich abweichend zu $0^m.125$ im Durchschnitt. Die Reduktion ist nur bis auf $0^m.05$ genau durchgeführt worden; ich stelle die wesentlichen Elemente derselben zusammen:

Datum	Beobachtungen IV	II	I	III	Anomalien IV	II	I	III	Kurven (Größen) IV	II	I	III	Kurven (Differenzen) IV	II	I	III
1858 Nov. 21	$0^m.00$	$0^m.56$	$0^m.75$	$1^m.12$	269°	340°	43°	222°	$6^m.2$	$5^m.9$	$5^m.7$	$4^m.9$	$0^m.0$	$0^m.3$	$0^m.5$	$1^m.3$
» 22	»	0.75	0.75	1.12	291	88	257	275	6.1	5.6	5.65	5.1	»	0.5	0.45	1.0
Dez. 17	»	0.75	0.94	1.31	116	109	314	97	6.35	5.15	5.5	5.0	»	1.2	0.85	1.35
» 22	»	0.75	0.75	0.88	223	250	241	346	6.3	5.75	5.5	5.05	»	0.55	0.8	1.25
1859 Jan. 9	»	0.44	0.19	—	255	284	322	177	6.25	5.95	5.75	—	»	0.3	0.5	—
» 26	»	0.75	—	1.19	261	204	167	311	6.2	5.6	5.5	5.1	»	0.6	—	1.1
Febr. 5	»	1.00	0.75	1.44	116	128	28	91	6.35	5.45	5.5	4.9	»	0.9	0.85	1.45
März 31	»	—	(1.12)	1.69	201	214	241	291	6.4	5.6	5.5	5.0	»	(0.8)	(0.9)	1.4
April 24	»	0.75	0.94	1.44	353	121	76	52	6.4	5.4	5.25	5.0	»	1.0	1.15	1.4
1860 Mai 1	»	1.12	—	1.56	92	115	9	78	6.3	5.3	—	4.75	»	1.0	—	1.55
» 9	»	—	—	1.12	263	—	—	115	6.2	—	—	4.95	»	—	—	1.25

Reduzierte Beobachtungen

I	Anom.	II	Anom.	III	Anom.	IV	Anom.
$5^m.5$	28°	$5^m.5$	88°	$4^m.85$	52°	$6^m.35$	92°
5.55	43	5.5	109	4.8	78	6.25	116
5.35	76	5.2	115	4.9	91	6.35	116
5.5	241	5.55	121	4.95	97	6.25	223
5.5	257	5.45	128	5.15	222	6.2	255
5.3	314	5.55	204	5.15	275	6.3	261
6.0	322	5.5	250	5.1	311	6.3	269
—	—	5.75	284	5.35	346	6.25	291
—	—	5.7	340	—	—	6.3	353

Digitized by Google

Die Vergleichungen von 1859 März 31 sind ausgeschlossen worden, weil die Helligkeit unter I sich auf die Summe I + II bezieht, somit nur zwei Trabanten für die Reduktion übrig blieben; aus letzterem Grunde ist auch 1860 Mai 9 unreduziert geblieben.

Die Vergleichung der Resultate mit den Bothkamper Kurven ergibt zunächst für die Beobachtungen an den beiden größeren Instrumenten eine den Umständen nach sehr befriedigende Übereinstimmung, abgesehen von einer Stelle in den Lichtkurven von Trabant II: Das schroffe Minimum der Bothkamper Kurve bei 280° ist bei Auwers nicht vorhanden! Die in Betracht kommenden Beobachtungen fallen auf die Zeiten:

1859 März 28 —; 1859 Dezember 2 $10^h.7$ M. Z. Königsberg; 1860 April 15 $8^h.5 \pm$ M. Z. Königsberg.

Es sind also unglücklicherweise für zwei derselben die Zeiten unsicher; die erste Beobachtung jedoch kommt weniger in Frage, weil die Anomalie von II, von Auwers zu 272° ± angegeben, noch zu weit von 280° entfernt ist, für die zweite ist die Anomalie von II 275° und für die dritte 279° ±; demnach würde die dritte die beweiskräftigste sein für die Nichtexistenz des Minimums bei 280°, wenn die Beobachtungszeit gesichert wäre. Auf meine Anfrage hat mir Herr Auwers in entgegenkommendster Weise Auskunft gegeben; danach hat die Beobachtung sehr wahrscheinlich zwischen 8^h und 9^h stattgefunden. Eine während der Beobachtung gemachte Skizze der Lage der Trabanten zueinander läßt in guter Übereinstimmung damit erkennen, daß die Beobachtung frühestens um $7^h.8$ und spätestens um $8^h.8$ stattgefunden haben muß; dies sind jedoch die alleräußersten Grenzen; der wahrscheinlichste Wert der Beobachtungszeit ist demnach $8^h.3$ und der der Anomalie 278° mit einer äußersten Unsicherheit von ± 2°. Eine Erklärung des Ausfalles des Minimums durch die Unsicherheit der Uhrzeit ist demnach ausgeschlossen, abgesehen davon, daß die ganz zweifelfreie Beobachtung 1859 Dezember 2 ebenfalls nicht die mindeste Abnahme der Helligkeit andeutet. Die Beobachtung bei 284° am Kometensucher kann keinen Beitrag zu der vorliegenden Sache, von der später noch eingehender die Rede sein wird, liefern, da bei dieser Anomalie die ursprüngliche Helligkeit beinahe wieder erreicht ist. Einige kleinere Abweichungen zwischen den Auwersschen und Bothkamper Kurven sind durch das Fehlen von Beobachtungen an den betreffenden Stellen in der einen oder anderen Kurve bedingt, wodurch die Notwendigkeit vorlag, den Kurven dort möglichst einfachen Verlauf zu geben. Was endlich die Beobachtungen am Kometensucher anbelangt, die ich einer graphischen Darstellung nicht unterzogen habe, so scheint bei Trabant I das Maximum in der Nähe von 80° und das Minimum nach 320° angedeutet zu sein; bei II ist das Maximum bei 110° etwas später, auch die geringere Helligkeit im letzten Quadranten ist vorhanden. Trabant III wurde in Übereinstimmung mit den Kurven um die östliche Elongation (90°) herum hell, vor der oberen Konjunktion (0°) schwach gefunden. Trabant IV erscheint nach den Beobachtungen im Kometensucher nahezu konstant, was er auch nach den Lichtkurven sein mußte.

Die Beobachtungen Engelmanns.

Die Beobachtungen Engelmanns (Messungen mit einem Zöllnerschen Photometer in Verbindung mit Refraktoren von $3^1/_2$" resp. $4^1/_3$" Öffnung bei 40-facher resp. 50-facher Vergrößerung) fallen sämtlich in das Jahr 1870 und sind in der Abhandlung »Über die Helligkeitsverhältnisse der Jupiterstrabanten« Leipzig 1871 zusammengestellt und nebst den Auwersschen Schätzungen bearbeitet. Als Resultat fand Engelmann bekanntlich die sichere Feststellung der Periodizität des Lichtwechsels von IV, während er für die übrigen Trabanten zu positiven Ergebnissen nicht zu gelangen vermochte, obwohl sie in seinen und Auwers' Beobachtungen enthalten waren. Der Grund liegt hauptsächlich in der Vernachlässigung der beträchtlichen systematischen Fehler in seinen Messungen und der unrichtigen Eliminierung derselben in Auwers' Beobachtungen, in welchen er eine starke Abhängigkeit von der scheinbaren Entfernung der Trabanten von Jupiter zu erkennen glaubte, die in Wirklichkeit nicht vorhanden oder nur sehr geringfügig ist; infolgedessen fand er für Auwers' Stufe den gänzlich unzulässigen Wert von $0^m.166$. Die systematischen Fehler in den Engelmannschen Messungen kommen hauptsächlich durch die außerordentlich variable Auffassung der Vergleichsterne zustande, welche ich gleich durch Zahlen näher illustrieren werde; auffallenderweise scheinen die Messungen der Trabanten viel weniger davon beeinflußt, mit anderen Worten viel homogener zu sein, sodaß es wahrscheinlich wird, daß der Unterschied zwischen dem Aussehen der Vergleichsterne und dem künstlichen Stern in Engelmanns Photometer ein beträchtlich größerer war als der zwischen künstlichem Stern und Trabant. Bis zu einem gewissen Grade war dies bei nicht ruhiger Luft natürlich auch in Bothkamp der Fall, es ist dies überhaupt nicht zu vermeiden. Man hat es aber später in der Hand, mittels der genauer bekannten Lichtkurven der Trabanten, sofern sich dieselben nicht als allzu veränderlich herausstellen sollten, diese Fehlerquelle teilweise zu eliminieren, indem man die letzte Reduktion in der Weise bewerkstelligt, wie dies mit Auwers' Beobachtungen hier gemacht worden ist, indem man also die Vergleichsternmessungen, nachdem sie eventuell zur Ermittelung der durchschnittlichen Helligkeiten der Trabanten gedient haben, ganz ausscheidet. Bei den Messungen von Engelmann und, wie nachher gezeigt werden wird, denjenigen von Pickering, war dieses Verfahren von vornherein notwendig. Vergleicht man die in Engelmanns Abhandlung gegebenen graphischen Darstellungen des Lichtwechsels mit den Kurven von Auwers und mir, so findet man zwar gewisse Ähnlichkeiten, besonders in bezug auf die hervorragendsten Phasen des Lichtwechsels, aber im allgemeinen ist doch die Übereinstimmung eine sehr mäßige; dies ändert sich sehr wesentlich, wenn man die Messungen Engelmanns dem oben angedeuteten Reduktionsverfahren unterzieht. Zunächst habe ich, um ein Urteil über die Zuverlässigkeit dieser wichtigen Messungen zu gewinnen, die Vergleichsternmessungen untersucht. Die von Engelmann benutzten Vergleichsterne haben nach der Potsdamer Durchmusterung folgende Helligkeiten und Farben:

(1) $6^m.68$ G, (2) $6^m.52$ W, (3) $7^m.25$ G, (4) $6^m.33$ RG, 132 T $5^m.04$ WG+.

Digitized by Google

An 23 von 37 Abenden sind entweder nur die schwachen Vergleichsterne oder nur die hellen benutzt worden, an den übrigen Abenden schwache und helle gleichzeitig, sodaß für den größten Teil der Messungssätze eine Eliminierung systematischer Fehler nicht möglich ist. Folgende Zusammenstellung gibt eine Übersicht über die zu erwartenden Beträge der letzteren:

Engelmanns Messungen der Vergleichsterne.

(2)—(1)	(2)—(1)	(2)—(3)	(1)—(3)	(4)—(2)	(4)—(1)	(4)—(3)	132T—(1)	132T—(2)	132T—(3)	132T—(4)
$+0^{\mathrm{m}}.62$	$+0^{\mathrm{m}}.44$	$+0^{\mathrm{m}}.56$	$+0^{\mathrm{m}}.24$	$-0^{\mathrm{m}}.36$	$+0^{\mathrm{m}}.26$	$+0^{\mathrm{m}}.41$	$+1^{\mathrm{m}}.50$	$+1^{\mathrm{m}}.10$	$+2^{\mathrm{m}}.06$	$+1^{\mathrm{m}}.56$
+0.32	+0.07	+0.52	+0.13	−0.36	+0.08	+0.82	+1.38	+1.12	+1.95	+1.54
−0.04	+0.09	+0.96	+0.56	+0.01	+0.03	+0.55	+1.46	+0.97	+1.93	+1.56
+0.39	+0.41	+0.40	+0.33	−0.06	+0.42	+0.59	+1.82	+1.20	+1.91	+1.11
+0.33	+0.47	+0.82	+0.40	0.00	+0.20		+2.41	+1.10	+1.90	+1.36
+0.56	+0.42	+0.67	+0.20	−0.16			+1.88	+1.44	+1.95	+1.43
+0.34	+0.39	+0.71	+0.31	−0.15			+1.62	+1.55		
−0.10		+0.66					+1.59	+1.50		
+0.40							+1.65	+1.11		
+0.26							+1.52	+1.24		
+0.49							+1.72	+1.19		
+0.61							+1.75	+1.33		
+1.30							+1.69	+1.24		

Da jede Messung aus zwei bis sechs Doppeleinstellungen besteht, so kann man wohl annehmen, daß die zufälligen Beobachtungsfehler gegenüber den systematischen klein sind; dann ergibt die Zusammenstellung, daß die letzteren von Abend zu Abend sehr starken Schwankungen unterworfen gewesen sind, ein Umstand, auf den auch Engelmann selbst aufmerksam macht (Seite 15 in seiner Abhandlung). Vergleicht man die Mittelwerte mit den aus der Potsdamer Durchmusterung entnommenen Helligkeitsdifferenzen, so ergeben sich auch für den Durchschnitt aus Messungen mehrerer Abende starke Auffassungsdifferenzen:

	PD.	Engelmann	PD. — E.	Farben
(2) — (1)	$+0^{\mathrm{m}}.16$	$+0^{\mathrm{m}}.39$	$-0^{\mathrm{m}}.23$	W , G
(4) — (2)	+0.19	−0.15	+0.34	RG, W
(4) — (1)	+0.35	+0.20	+0.15	RG, G
(1) — (3)	+0.57	+0.31	+0.26	G , G
(2) — (3)	+0.73	+0.66	+0.07	W , G
(4) — (3)	+0.92	+0.59	+0.33	RG, G

	PD.	Engelmann	PD.—E.	Farben
132T — (4)	$+1^{\mathrm{m}}.29$	$+1^{\mathrm{m}}.43$	$-0^{\mathrm{m}}.14$	WG+, RG
132T — (2)	+1.48	+1.24	+0.24	WG+, W
132T — (1)	+1.64	+1.69	−0.05	WG+, G
132T — (3)	+2.21	+1.95	+0.26	WG+, G

Eine Abhängigkeit der Differenzen PD. — E. von der Helligkeitsdifferenz ist nicht klar erkennbar; unterzieht man der Einfachheit halber nur die Differenzen gegen den schwächsten der Sterne, (3), einer Ausgleichung, so wird gefunden, daß eine von Engelmann gemessene Größenklasse gleich $1^{\mathrm{m}}.08$ der PD. ist; die übrigbleibenden Abweichungen sind jedoch im Mittel $0^{\mathrm{m}}.11$, woraus zu folgen scheint, daß das Resultat nur ein zufälliges ist. Etwas sicherer scheint eine Abhängigkeit der Messungen von der Farbe vorhanden zu sein, und zwar in der Weise, daß die gelben Sterne gegenüber den weißen im Vergleich mit Potsdam zu schwach gemessen worden sind. Diese Ergebnisse haben mich dazu bestimmt, auf die Engelmannschen Messungen dasselbe Verfahren anzuwenden, wie auf die Schätzungen von Auwers; dabei ist der Wert einer gemessenen Größenklasse gleich $1^{\mathrm{m}}.00$ angenommen worden. Die Reduktion ergab in ihrem Verlauf noch das Vorhandensein kleiner Differenzen in der mittleren Auffassung der Trabanten zwischen Engelmann und mir, für welche folgende Beträge gefunden und verwendet worden sind:

Trabant IV $0^{\mathrm{m}}.00$, Trabant II $+0^{\mathrm{m}}.06$, Trabant I $-0^{\mathrm{m}}.04$, Trabant III $+0^{\mathrm{m}}.19$.

Das Vorzeichen ist im Sinne Bothkamp-Engelmann zu verstehen und positiv, wenn die Helligkeit nach Bothkamp die größere war. Die Beträge für die Trabanten I und II hätten vernachlässigt werden können.

Die Resultate der Reduktion sind in Tafel VIII mit den im folgenden zu behandelnden Beobachtungen Pickerings zusammen gegeben; der Buchstabe E bedeutet Engelmann. Weitere Bemerkungen folgen am Schluß des nächsten Abschnittes.

Die Beobachtungen Pickerings.

Die unter dieser Bezeichnung zusammengefaßten Messungen sind in den Jahren 1877 und 1878 in Cambridge meist von Pickering selbst, zum Teil von Searle und Upton gemacht worden. Sie bestehen aus Vergleichungen der Trabanten entweder mit einem verkleinerten Bild des Jupiter oder untereinander mittels der Photometer E und J resp. H nach Pickerings Bezeichnung. Bezüglich näherer Information kann ich wohl auf den 11. Band der Annalen des Harvard College Observatory, in welchem die Messungen mitgeteilt sind, verweisen. Für die Vergleichungen der Trabanten untereinander war von selbst dasjenige Reduktionsverfahren angezeigt, welchem die Beobachtungen von Auwers und Engelmann

Digitized by Google

unterworfen worden sind. Die Vergleichungen mit Jupiter geben absolute Größen, ich habe sie demnach ähnlich behandelt, weil die direkte Vergleichung mit Jupiter die Ermittlung von Konstanten bedingt, deren genaue Beträge sich nur schwierig bestimmen lassen. Die Fehler derselben gehen aber in vollem Betrage in die Resultate ein, woraus sich z. B. unschwer der nahezu konstante Unterschied zwischen den mittleren Helligkeiten der Trabanten nach Pickering und Engelmann, sowie nach den Bothkamper Messungen, erklärt. Die Differenz E. — P. ist nämlich im Sinne der Helligkeiten, wenn man die von den Beobachtern selbst gefundenen mittleren Helligkeiten zugrunde legt, für

Trabant I $+0^{m}.38$, Trabant II $+0^{m}.34$, Trabant III $+0^{m}.21$, Trabant IV $+0^{m}.38$

und die Differenzen (P.)—(B) für

Trabant I $+0^{m}.36$, Trabant II $+0^{m}.39$, Trabant III $+0^{m}.46$, Trabant IV $+0^{m}.39$.

Daß Spitta auf Grund von Keilphotometermessungen zu Resultaten kommt, die mit denen Pickerings nahe übereinstimmen, ist meiner Ansicht nach ein Zufall. Seine Messungen ergeben direkt noch viel größere Helligkeiten für die Trabanten als Engelmanns und meine, wegen des verschiedenen Verhaltens von ausgedehnten und punktförmigen Lichtquellen bei Auslöschungen durch den Rauchkeil. Den hieraus entstehenden systematischen Fehler bestimmte Spitta experimentell an zwei künstlichen Lichtquellen, von denen die eine, durch ein Diaphragma von 0.0021 Zoll Öffnung gebildet, den Trabanten, die andere durch ein Diaphragma von 0.0660 Zoll Öffnung gebildet, den Jupiter darstellte. Das Helligkeitsverhältnis der beiden Lichtquellen wurde einerseits mit dem Keilphotometer gemessen, andererseits aus den Diaphragmaöffnungen berechnet. Spitta erhielt so für den Jupiter einen relativen Lichtverlust von $0^{m}.83$, um welchen Betrag also die Trabantenhelligkeiten zu vermindern waren. Man sieht, daß die Genauigkeit des Betrages dieser Korrektion ganz und gar von der Zuverlässigkeit des berechneten Wertes des effektiven Verhältnisses der beiden Diaphragmenöffnungen zueinander abhängt und ich möchte bezweifeln, daß dieses effektive Verhältnis durch bloße Ausmessung der Durchmesser dieser so kleinen Diaphragmenöffnungen bestimmt werden kann, wie dies Spitta getan hat, ganz abgesehen davon, daß die geringsten Fehler in den Durchmessern sehr starke Fehler in dem Helligkeitsverhältnis zur Folge haben müssen. Übrigens ist die Korrektion der Trabantenhelligkeiten bei genauer Rechnung richtiger $0^{m}.73$ statt $0^{m}.83$, sodaß also sämtliche Helligkeiten um $0^{m}.10$ größer und damit die Abweichungen von den Bothkamper Mittel um $0^{m}.10$ kleiner werden.

Die aus den Cambridger Messungen, von welchen der Natur der Sache nach vorläufig nur die Vergleichungen mit Jupiter und die Vergleichungen von mehr als zwei Trabanten untereinander benutzt werden konnten, erhaltenen Resultate, die zu den gewichtigsten gehören, welche ich aus älteren Beobachtungen hier bringen kann, sind vereint mit Engelmanns Beobachtungen in Tafel VIII zusammengestellt und mit P bezeichnet. Auch diese habe ich einer graphischen Darstellung unterzogen, welche ebenfalls auf der Tafel IX gegeben sind. Wie am Fuß der Tafel bemerkt ist, stellen die ausgezogenen Kurven Auwers' Schätzungen, die gestrichelten Engelmanns und Pickerings Messungen, die punktierten Kurven die Bothkamper Beobachtungen dar; am linken Rande der Tafel stehen die Größenklassen, am Fuße derselben die Anomalien oder Längen der Trabanten in ihren Bahnen, gerechnet von den geozentrischen oberen Konjunktionen aus. Die Übereinstimmung der gestrichelten Kurve mit der Bothkamper ist durchaus befriedigend zu nennen; die etwas mangelhafte der Kurve von Trabant I zwischen 70° und 100° ist nur eine scheinbare, durch das Fehlen der Beobachtungen in der gestrichelten Kurve an dieser Stelle hervorgerufene. Auffällig ist ein Umstand, der später noch eingehend untersucht werden muß, nämlich die Verschiebung einzelner einander entsprechender Maxima und Minima in den drei Kurven gegeneinander, die am auffälligsten bei Trabant I zwischen 20° und 50° und bei Trabant III zwischen 0° und 80° hervortritt. Hier sei darüber nur soviel bemerkt, daß die reelle Existenz derselben gegenwärtig nicht entschieden werden kann, da die Zahl der sie bestimmenden Helligkeitswerte noch allzu gering ist.

Ganz neuerdings hat Pickering noch einige Messungen der Trabanten veröffentlicht (A. N. 4018), die von Wendell im Frühjahr 1905 erhalten worden sind. Da dieselben mit einer Ausnahme aus Vergleichungen von nur je zwei Trabanten an jedem Abend bestehen, so erlauben sie keine Reduktion in der Weise wie die früheren; sie müssen nebst den vielen älteren Cambridger Messungen derselben Art, welche besonders für die in der Nähe der Konjunktionen liegenden Kurventeile wertvoll sind, einer Zeit vorbehalten bleiben, in der die Lichtkurven genauer bekannt sein werden als jetzt. Weil jedoch die neuesten Messungen zu dem ausgesprochenen Zweck angestellt worden sind, die Konstanz der Helligkeiten der Trabanten darzutun, so muß ich auf diese hier näher eingehen. Die folgende Zusammenstellung enthält die zu den Beobachtungszeiten gehörenden Anomalien der Trabanten und zu diesen die den Lichtkurven entnommenen Helligkeiten.

J. D.	Trabanten	Anomalien	Größen
6900.592	III, I	86°, 108°	$4^{m}.76$, $5^{m}.30$
6907.524	»	74, 77	4.90, 5.16
6904.538	III, II	283, 313	5.05, 5.87
6906.528	»	23, 155	5.04, 5.59
6918.542	»	265, 290	5.10, 5.71
6905.526	III, IV	333, 199	4.94, 6.39
6911.524	»	273, 326	5.16, 6.20
6915.522	»	114, 53	4.94, 6.24

J. D.	Trabanten	Anomalien	Größen
6902.528	I, II	142°, 110°	$5^{m}.42$, $5^{m}.15$
6909.533	»	126, 99	5.55, 5.29
6916.547	»	111, 88	5.24, 5.60
6922.518	I, IV	245, 202	5.50, 6.38
6911.549	II, IV	303, 327	5.82, 6.20
6920.520	»	130, 158	5.44, 6.30
6928.518	»	219, 329	5.65, 6.19

Digitized by Google

Ein Überblick über die Größen zeigt, daß zu den Zeiten der Cambridger Messungen nach den Kurven nur zweimal die gewöhnliche Reihenfolge der Helligkeiten (III, I, II, IV) nicht stattfand, nämlich bei der 9. und 10. Messung, wo II nach den Kurven heller als I hätte beobachtet werden sollen. Die folgende Tafel gibt die Vergleichung der Messungen mit den Kurven:

	Beobachtung	Kurven	B — K
III–I	$+0^{m}.42$	$+0^{m}.54$	$-0^{m}.12$
»	+0.42	+0.26	+0.16
III–II	+0.62	+0.82	−0.20
»	+0.60	+0.55	+0.05
»	+0.63	+0.61	+0.02
III–IV	+1.18	+1.45	−0.27
»	+1.16	+1.04	+0.12
»	+1.19	+1.30	−0.11

	Beobachtung	Kurven	B — K
I–II	$+0^{m}.09$	$-0^{m}.27$	$+0^{m}.36$
»	+0.16	−0.26	+0.42
»	+0.16	+0.36	−0.20
I–IV	+0.83	+0.88	−0.05
II–IV	+0.58	+0.38	+0.20
»	+0.71	+0.86	−0.15
»	+0.64	+0.54	+0.10

Die Abweichungen B — K bieten mit Ausnahme der 9. und 10. nichts, was der Erklärung bedürfte. Für die beiden großen Abweichungen habe ich vergeblich nach einer stichhaltigen Erklärung gesucht; der Möglichkeiten für die Entstehung derselben sind mehrere; zunächst sind nicht die eigentlichen Beobachtungszeiten, sondern nur deren Mittel gegeben (die erste der in Rede stehenden Differenzen ist das Mittel aus zwei, die zweite das Mittel aus drei Vergleichungen der beiden Trabanten I und II), was angesichts der schnellen Helligkeitsänderung von II bei der betreffenden Anomalie durchaus nicht ganz ohne Belang ist; ferner ist über die Veränderungen der Lichtkurven noch fast nichts sicheres bekannt, und ebensowohl, wie der gelegentliche Ausfall des Minimums des Trabanten II bei der Anomalie 280° ist auch der Ausfall des Maximums bei 110° nicht undenkbar, wenn es auch auffallen muß, daß das Maximum innerhalb 14 Tage (Februar 11 bis 25) verschwunden sein sollte; von weiteren Möglichkeiten, die in den Beobachtungen selbst liegen, will ich dabei ganz absehen; die Sache muß zunächst unaufgeklärt bleiben; jedenfalls aber verdient die Lichtkurve von II besondere Aufmerksamkeit auch bezüglich dieser Stelle (110°).

Die Beobachtungen von W. Herschel und Schröter.

Beide Reihen haben, trotzdem die Beobachtungen ihrer Form wegen keine strenge Reduktion zulassen, für die Erkenntnis des Lichtwechsels großen Wert. Herschels Beobachtungen bestehen in Vergleichungen der Helligkeiten und der scheinbaren Dimensionen der Trabanten miteinander; bekanntlich sind im Zusammenhang mit dem Lichtwechsel die scheinbaren Durchmesser der Trabanten einem Wechsel unterworfen, dessen Realität und mögliche Ursache später zu erörtern sein wird. Die Dimensionsvergleichungen reduzierte Herschel auf die der Helligkeiten unter der Annahme, daß, wenn ein Satellit zu einer Zeit verhältnismäßig gegen einen anderen größer (in bezug auf seine Scheibe) war als zu anderer Zeit, er auch zu jener ersteren Zeit lichtstärker war, eine Voraussetzung, gegen welche wohl nichts einzuwenden ist, wenn sie mit Kritik angewendet wird, was bei einem Herschel selbstverständlich ist. Die Schlüsse, welche Herschel aus seinen über die Jahre 1794–96 sich erstreckenden Beobachtungen gezogen hat, zitiere ich nach Engelmann Seite 54 ff., da mir die Originalabhandlung (Philos. Trans. 1797) nicht zugänglich war. Außerdem hatte ich das Referat Bodes im B. J. 1801 zur Verfügung, das jedoch teilweise schwer verständlich und von Druckfehlern entstellt ist, besonders in bezug auf die dort gegebenen Beobachtungen, weshalb ich mich hauptsächlich an die Angaben Engelmanns halte, der anscheinend Herschels Originalabhandlung vor sich gehabt hat.

Satellit I soll nach Herschel in den Anomalien 0° bis 65° und 280° bis 360° geringere, in den übrigen Teilen der Bahn größere Helligkeit haben. Diese allgemeinen Angaben können nichts zur Erkenntnis des Lichtwechsels zu jener Zeit beitragen; berechnet man dagegen aus den in Bodes Jahrbüchern gegebenen Eintritts- und Austrittsmomenten runde Anomalien für die Herschelschen Beobachtungen, so ergibt sich, daß der Trabant bei 80° sehr hell gefunden wurde (1794 August 9 und 1796 Sept. 24), bei 60° (1794 Juli 31) weniger glänzend als II, der aber damals nahe seinem Hauptmaximum (115°) war; bei 30° weniger glänzend als II, der bei 135° war und ungewöhnlich glänzend erschien (1796 Oktober 15); 2½ Stunden später hatte I (50°) gegen II (145°) beträchtlich zugenommen und war beinahe so glänzend als dieser, noch eine halbe Stunde später waren beide gleich. Ferner war I hell bei 115° und 165° (1794 Juli 26 und 28), schwach bei 295° (1795 Sept. 30), bei 340° (Okt. 2), sehr glänzend bei 110° (1796 Aug. 18), bei 215° (Sept. 30) schwächer als Sept. 24 bei 80°, bei 265° (Okt. 25) matt und klein, bei 295° (Nov. 3) nicht sehr glänzend. Die Übereinstimmung mit den Kurven ist wohl im allgemeinen so befriedigend, als man erwarten kann.

Trabant II ist nach Herschel weit weniger veränderlich als I, was zutrifft, wenn man von dem von Herschel nicht beobachteten Minimum bei 280° absieht. Das Maximum ist nach Herschel zwischen der östlichen Elongation (90°) und der unteren Konjunktion (180°), schwach ist er zwischen 290° und 360° und zwischen 0° und 35°. Herschels Beobachtungen treffen zweimal in die Nähe des Hauptmaximums bei 110°: 1794 Juli 31 115° »II hat viele Intensität und Weiße«; 1796 Oktober 25 110° »sehr glänzend und klein«; demnach scheint das Hauptmaximum 1794 und 1796 bestanden zu haben.

Digitized by Google

Trabant III ist nach Herschel in den Elongationen (90° und 270°) am hellsten; während das Maximum bei 90° durch die Lichtkurven bestätigt wird, ist das zweite bei 270° in denselben nicht in ausgesprochener Weise in der Umgebung dieser Anomalie vorhanden. Ferner soll nach Herschel der Trabant von 290°–30° unter der mittleren Helligkeit sein; interessant ist noch die Bemerkung, daß möglicherweise nach der östlichen Elongation, auf dem Wege zur unteren Konjunktion eine Verminderung des Lichtes eintrete.

Trabant IV ist nach Herschel hell zwischen 0° und 95°, sowie zwischen 325° und 360°, schwach zwischen 95° und 325°; das Maximum vor der oberen Konjunktion beginnt jedoch nach allen anderen Beobachtern schon beträchtlich früher als bei 325°; die Zunahme der Helligkeit wird schon bei etwa 250° eine entschiedenere; außerdem fällt ein Helligkeitsminimum nahe mit der oberen Konjunktion zusammen.

Schröters Beobachtungen beziehen sich hauptsächlich auf den IV. Trabanten und sie ergeben große Helligkeit für die Zeit kurz vor und nach der oberen Konjunktion und die schwächste Helligkeit kurze Zeit nach der unteren Konjunktion; das Maximum vor der oberen Konjunktion ist so wenig in den Beobachtungen ausgesprochen, daß Schröter nur ein Maximum annahm, nämlich dasjenige bei 30° oder 40°.

Von den wenigen Beobachtungen der anderen Trabanten verdient eine besonderes Interesse, sie betrifft nämlich Trabant II im Minimum bei der Anomalie 280°. In Schröters »Beiträge zu den neuesten astronomischen Entdeckungen« Band 2 findet sich auf Seite 185 ff. die Besprechung einer merkwürdigen Beobachtung des Trabanten II. Er fand nämlich 1797 Januar 17 bei der Anomalie 280° ungefähr II so auffallend lichtschwach, daß seine Aufmerksamkeit dadurch in hohem Grade erregt wurde. Schröter bringt die Erscheinung mit der des Trabanten vom vorhergehenden Tage, wo er den Trabanten kurz nach der Konjunktion ebenfalls sehr schwach gesehen hatte, in Zusammenhang und schließt daraus, daß damals eine große zeitweise Verdunkelung einen beträchtlichen Teil der Oberfläche des Satelliten ergriffen haben müsse. Es ist aber offenbar, daß er am 16. Januar den Trabanten nur deshalb so schwach sah, trotzdem er heller als am 17. Januar gewesen sein mag, weil er noch ganz in der Nähe des Jupiter stand. Leider hat Schröter wegen der Nähe des Jupiter an der Sonne am 17. Januar den Trabanten nicht länger verfolgen können, noch ist später jemals bei derselben Anomalie mit Absicht wieder nach demselben gesehen worden, sodaß die Periodizität der Erscheinung unerkannt geblieben ist. Es bleibt aber kein Zweifel, daß im Januar 1797 das Minimum vorhanden war, sodaß der Ausfall 1859 und 1860 nur ein zeitweiser gewesen ist.

Die Beobachtungen von Mädler (1835 Dezember bis 1836 April).

Die Beobachtungen Mädlers habe ich dem früher erklärten Reduktionsverfahren unterworfen, indem ich zunächst aufs Geratewohl den von Mädler angewandten Zeichen folgende Werte gab: , = $0^m\!.2$; = $0^m\!.4$ · = $0^m\!.6$. Die Vergleichung der Mittel aus den Beobachtungen mit den entsprechenden Kurvenwerten ergab dann folgende Differenzen:

Beobachtung		Kurven	Differenz
IV	= $0^m\!.00$	$0^m\!.00$	—
II	= 0.21	0.64	$-0^m\!.43$
I	= 0.30	0.73	−0.43
III	= 0.70	1.20	−0.50

Die Differenzen zeigen, daß die angenommene Übersetzung der Zeichen nahe richtig ist und ferner, daß Trabant IV von Mädler um $0^m\!.45$ heller aufgefaßt worden ist als von mir. Um diesen Betrag sind also alle Vergleichungen des Trabanten IV zu korrigieren, um sie mit der Kurve vergleichbar zu machen. Die Reduktion ergab nun für die Trabanten I, II und III Helligkeitswerte, welche ebensooft die Kurven bestätigen als ihnen widersprechen. Dagegen fand sich in Übereinstimmung mit Mädler bei Trabant IV ein ausgesprochen periodischer Lichtwechsel, dessen Verlauf ganz befriedigend mit den Kurven übereinstimmt. Ich habe wiederum die zu benachbarten Anomalien gehörenden Helligkeiten zu Mittelwerten vereinigt und sie graphisch dargestellt, woraus sich folgende Lichtkurve von Trabant IV aus Mädlers Beobachtungen ergab:

Anom.	Größe	Anom.	Größe	Anom.	Größe	Anom.	Größe	Anom.	Größe	Anom.	Größe
10°	$6^m\!.6$	70°	$6^m\!.15$	130°	$6^m\!.6$	190°	$6^m\!.3$	250°	$5^m\!.9$	310°	$6^m\!.0$
20	6.35	80	6.2	140	6.55	200	6.3	260	5.85	320	6.1
30	6.2	90	6.25	150	6.4	210	6.3	270	5.8	330	6.25
40	6.1	100	6.35	160	6.3	220	6.3	280	5.8	340	6.4
50	6.1	110	6.45	170	6.3	230	6.25	290	5.8	350	6.55
60	6.1	120	6.55	180	6.3	240	6.1	300	5.9	360	6.65

Die Helligkeitsmaxima fallen demnach auf etwa 50° und 280°, außerdem ist ein deutliches Minimum bei 130° vorhanden, während nach Pickering und Engelmann ein solches auf etwa 105° fällt; in Auwers' und den Bothkamper Beobachtungen ist das Minimum nicht ausgeprägt. Die Amplitüde des Lichtwechsels ist nach Mädlers Beobachtungen etwa doppelt so groß wie nach Auwers und Bothkamp und noch etwas größer als nach Engelmann und Pickering.

Digitized by Google

Die Beobachtungen von Klein (1867), Flammarion (1874–75), Zenger (1877), Wirtz (1894–95).

Die Beobachtungen von Klein sind der gewöhnlichen Reduktion unterzogen worden; die Vergleichung der Mittel aus den Beobachtungen mit den Mitteln der entsprechenden Kurvenwerte ergibt folgendes:

	Beobachtung	Kurven	Differenz
IV	$0^m.00$	$0^m.00$	—
II	−0.33	+0.67	$-1^m.00$
I	−0.49	+0.93	−1.42
III	+0.22	+1.22	−1.00

Diese Tabelle zeigt zunächst, daß IV um mindestens eine Größenklasse im Durchschnitt von Klein heller gefunden worden ist als von Engelmann, Pickering oder mir; außerdem sind aber auch die Helligkeitsverhältnisse der anderen Trabanten beträchtlich von den gewöhnlich gefundenen verschieden, sodaß eine Vergleichung dieser Beobachtungen mit den bisher behandelten nicht durchführbar erscheint. Dies gilt auch für die Beobachtungen von Flammarion und von Zenger; erstere besitzen anscheinend eine in Anbetracht der geringen Amplitüde des Lichtwechsels nicht genügend große Genauigkeit; letztere beruhen auf einer Methode der Helligkeitsbestimmung, die durchaus nicht einwandsfrei sein dürfte. Zenger beobachtete nämlich die Zeiten des ersten Erscheinens der Trabanten in der Abenddämmerung oder des Verschwindens in der Morgendämmerung und berechnete daraus die relativen Helligkeiten der Trabanten. Zunächst sind die Abendbeobachtungen dieser Art ganz unbrauchbar, da das erste Sichtbarwerden der Trabanten sehr abhängig von der genauen Markierung der Stelle im Gesichtsfeld ist, wo der Trabant erscheinen muß, und deshalb viel zu schwierig festzustellen ist; ich habe selbst mehrmals Versuche darüber angestellt und gefunden, daß, trotzdem ich die Örter der Trabanten genau kannte, stets alle vier immer nahezu gleichzeitig sichtbar wurden, sodaß die Helligkeitsunterschiede zu gering herauskommen. Die Morgenbeobachtungen sind unabhängiger von der Markierung der Örter der Trabanten, leiden aber im übrigen an denselben Fehlerquellen wie die Abendbeobachtungen. Die Beobachtungen von Wirtz (A. N. 4017) sind nach Argelanders Methode angestellt und haben eine eingehendere Behandlung erfahren; ich bin dabei zu folgenden Ergebnissen gelangt:

Trabant IV ist von Wirtz um $0^m.40$ heller aufgefaßt worden als von Engelmann, Pickering oder mir, der Wert einer Stufe ist $0^m.17$. Im folgenden sind die Resultate aus den Beobachtungen zusammengestellt:

Trabant I		Trabant II		Trabant III		Trabant IV	
Anom.	Größe	Anom.	Größe	Anom.	Größe	Anom.	Größe
17°	$5^m.4$	18°	$5^m.55$	5°	$5^m.5$	19°	$6^m.3$
19	5.45	39	5.5	14	5.2	20	6.4
33	5.55	115	5.35	26	4.95	42	6.3
54	5.5	133	5.65	64	5.05	61	6.15
72	5.4	140	5.45	74	4.8	83	6.35
96	5.25	151	5.55	114	4.9	149	6.5
152	5.15	187	5.9	122	5.1	182	5.7
165	5.55	191	5.8	190	5.3	226	6.0
248	5.5	216	5.6	209	5.05	227	6.3
262	5.45	255	5.65	254	5.05	236	6.3
312	5.5	286	5.5	288	5.0	243	6.35
332	5.75	293	5.65	289	5.0	249	6.05
		299	5.55	296	5.1	249	6.15
		336	5.9	342	5.3	262	6.05
		338	6.1	346	5.3		

Bei Trabant I ist die Übereinstimmung mit den Kurven wenig befriedigend, bei II und III ist der Gang der Helligkeit im großen und ganzen mit den Kurven parallel, bei IV ist die Zunahme der Helligkeit gegen die westliche Elongation hin gut markiert; die Beobachtungen sind jedoch zu wenig zahlreich, um etwas Bestimmteres auf Grund derselben aussagen zu können. Die Beobachtung von II bei 286° ist schon außerhalb des Minimums.

VII.

Das Minimum des Trabanten II bei der Anomalie 280°.

Ehe auf die bisher festgestellten Veränderungen der mittleren Lichtkurven weitere Schlüsse gebaut werden können, müssen diese Veränderungen noch auf ihre Realität geprüft werden. Zunächst die Verschiebungen gewisser Maxima und Minima in den verschiedenen Kurven ein und desselben Trabanten gegeneinander, von denen ich nur die hauptsächlichsten besprechen werde.

Digitized by Google

Trabant I: Das ungefähr auf die Anomalie 30° fallende Maximum zeigt angesichts seines schroffen Charakters auffallende Lageunterschiede in den drei Kurven; bei Auwers fällt es auf 32°, bei Pickering auf 27°, bei mir auf 34°; der Unterschied zwischen Pickering und Bothkamp erklärt sich leicht dadurch, daß ersterer nur eine Beobachtung an der Stelle hat und daß zudem die nächstliegenden Beobachtungen von Engelmann, d. h. von einem andern Beobachter, sind.

Trabant II: Das Minimum in der Nähe von 80° fällt nach Auwers auf 79°, nach Engelmann, Pickering und mir vielleicht etwas später; die Spärlichkeit der Beobachtungen ist wohl die Ursache der Verschiedenheit.

Trabant III: Das Minimum in der Umgebung von 60° nach Auwers und mir fällt nach Pickering auf 66°, doch beruht dies auf nur einer Beobachtung bei Pickering.

Trabant IV: Die verschiedene Lage des ersten Maximums in den drei Kurven ist in Anbetracht des außerordentlich geringen Lichtwechsels dieses Trabanten nicht auffallend, man kann die Verschiedenheit vorläufig nicht als reell betrachten.

Es bleibt demnach vorläufig allein die Veränderung der Lichtkurve von II bei der Anomalie 280° als ziemlich sicher konstatiert übrig. Zunächst sind für alle Beobachtungen in der Nähe von 280° die genauen Rotationsphasen auf die früher erläuterte Weise berechnet worden; nachfolgende Zusammenstellung enthält zunächst die Zeit der Beobachtungen, dann die Rotationsphase φ, die beobachtete Helligkeit von II und den Phasenwinkel α des Jupiter, negativ vor, positiv nach der Opposition des Jupiter.

1859	Dez. 2	$10^h 14^m$	M. Z. Berlin	$\varphi =$ 277°.5	$5^m.53$	$\alpha = -$ 7°.6	Beobachter:	Auwers
1860	April 15	8 1±	»	280.7±	5.6	+10.9	»	»
1870	» 6	7 48	»	282.3	5.96	+ 6.7	»	Engelmann
	Okt. 15	11 6	»	287.0	5.78	−10.2	»	»
1877	» 13	12 24	»	282.9	6.16	+10.2	»	Pickering
1878	» 21	15 24	»	277.8	6.09	+11.3	»	»
1905	Jan. 26	6 10	»	282.8	6.03	+11.2	»	Guthnick
	Febr. 2	5 50	»	269.9	5.66	+10.8	»	»
	» 2	9 56	»	287.2	5.70	+10.8	»	»
	» 27	5 47	»	279.6	6.18	+ 8.8	»	»
	» 27	5 55	»	280.1	6.14	+ 8.8	»	»
	» 27	6 31	»	282.7	6.07	+ 8.8	»	»
	» 27	8 7	»	289.4	5.65	+ 8.8	»	»

Der Ausfall des Minimums 1859 und 1860 erscheint nunmehr noch gesicherter. Im Februar 1905 lag das Minimum zwischen den Grenzen 270° und 287°, spielte sich also innerhalb weniger als 17° oder 4 Stunden ab; auch nach Engelmann ist das Minimum bei 287° wohl vorbei und scheint bei 282° schon überschritten zu sein. Nimmt man den Verlauf symmetrisch an, so fällt das Minimum nach den Bothkamper Beobachtungen auf etwa 278°–279°. Da alle Beobachtungen bei großen und beinahe ausschließlich positiven Phasenwinkeln angestellt worden sind, so kann ein etwaiger Zusammenhang mit diesen nicht zum Vorschein kommen. Zu Schröters Beobachtung 1797 Jan. 16 ist leider die Zeit nicht angegeben, da aber Jupiter nahe seinem heliakischen Untergang war (die Opposition des Planeten war 1796 Aug. 30, also 4²/₃ Monate vorher, gewesen), so wird die Annahme, daß die Beobachtung kurz nach Sonnenuntergang stattgefunden habe, sich nicht bedeutend von der Wahrheit entfernen können; zudem gibt Schröter an, daß der Trabant zur Zeit seiner Beobachtung etwa 101° seit der letzten unteren Konjunktion (Jan. 16) zurückgelegt habe, sodaß er sich also bei der Anomalie 281° befunden haben müßte. Die untere Konjunktion hat aber genähert Januar 16 6^h M. Z. Berlin stattgefunden, sodaß man für Januar 17 auf die Beobachtungszeit 6^h (M. Z. Berlin) kommt. Es bleibt also das alte Resultat bestehen, daß die Lichtkurve des II. Trabanten bei der Anomalie 280° eine zeitweise Änderung erfahren hat. Man vergleiche hierzu den Nachtrag am Schluß der Abhandlung. Ob die Lichtkurven der übrigen Trabanten, abgesehen von den früher entsprochenen kurz dauernden Störungen, zu verschiedenen Zeiten ähnliche Veränderungen zeigen, läßt sich aus dem vorliegenden Beobachtungsmaterial nicht erkennen, doch ist es wahrscheinlicher als das Gegenteil.

VIII.

Vergleichung der Helligkeitsschwankungen mit den Beobachtungen von Flecken und der ellipsoidischen Gestalt der Trabanten.

Es ist viele Mühe darauf verwendet worden, einen Zusammenhang zwischen den neueren Fleckenbeobachtungen und den Helligkeitsschwankungen aufzufinden, jedoch vergebens. Fleckenbeobachtungen während der Vorübergänge der Trabanten vor der Jupiterscheibe können natürlich keinen Beitrag zu der Frage liefern, sodaß die einzigen Beobachtungen von Flecken, deren Realität wohl nicht bezweifelt werden kann, nämlich die Wahrnehmung eines hellen Äquatorialstreifens auf Trabant I durch Barnard (A. N. 2995, 3206, 3453 und a. a. O.), für vorliegende Zwecke fortfallen. Von Wichtigkeit ist dagegen für die beiden nächsten Abschnitte die Bemerkung Barnards, daß der Äquator des Trabanten I eine nicht unbeträchtliche Neigung gegen den Äquator des Jupiter zu haben scheine. Aus gewissen Änderungen des

Digitized by Google

hellen Äquatorialstreifens schloß Barnard auf eine von der Umlaufszeit verschiedene Rotationsperiode. W. H. Pickering hat während der Opposition 1892 das von Barnard beschriebene weiße Äquatorialband nicht gesehen und schließt daraus, daß es nicht permanent vorhanden sei. In A. N. 3500 teilt Douglas neben Messungen der Elliptizität des Trabanten I Zeichnungen von Flecken, die er auf seiner Scheibe wahrnahm, mit. Aus beiden zusammen kommt er auf direkte Rotation von 12.4 Stunden Dauer, während W. H. Pickering aus Beobachtungen der Elliptizität (1892) retrograde Rotation von 13 Stunden Dauer gefunden hatte. Ich habe für die Zeiten der Douglasschen Zeichnungen von Flecken die Anomalien des Trabanten berechnet, konnte aber keinen bestimmten Zusammenhang zwischen jenen und dem Helligkeitswechsel entdecken. An den Tagen 1897 Februar 28, März 6 und 7 war nahe dieselbe Seite des Trabanten der Erde zugekehrt (unter Annahme der Rotationsperiode 42.5 Stunden), März 5 dagegen eine wesentlich andere; trotzdem sind die von Douglas gezeichneten Gebilde Februar 28 ganz verschieden von denen des 6. und 7. März.

Von Trabant III lagen mir Zeichnungen von Campbell und Schaeberle (Himmel u. Erde, IV) und von Barnard (A. N. 3453) vor. Auch für diese Zeichnungen habe ich die Anomalien berechnet und Vergleichungen mit der Lichtkurve angestellt, ebenfalls ohne Erfolg. Die Zeichnungen differieren untereinander überhaupt so wenig, daß es schwer ist zu beurteilen, welche von den gezeichneten Flecken größeren Effekt für die Helligkeit des Trabanten haben würden und welche geringeren. Ebensowenig konnte ich die Zeichnungen von Douglas (A. N. 3432) für die Erklärung des Lichtwechsels verwerten; die von ihm wahrgenommenen Gebilde würden wohl schwerlich imstande sein, merkliche Helligkeitsänderungen zu bewirken.

Die von vielen Beobachtern behauptete Existenz einer ellipsoidischen Gestalt der Trabanten kann günstigsten Falles nur einen Teil des Lichtwechsels erklären. Über Trabant I liegen mehrere größere Beobachtungsreihen vor, die sich jedoch teilweise widersprechen; auch bestreitet ein unter so günstigen Bedingungen arbeitender Beobachter wie Barnard auf das bestimmteste jede Elliptizität. Nach Schaeberle und Campbell ist I nach Jupiter hin verlängert und das Verhältnis der Achsen beträgt 5 : 4 : 4; da die Elliptizität während der Konjunktion null war und in den Elongationen am deutlichsten erschien, so würde die Rotationszeit der Umlaufszeit gleich zu setzen sein. Unter diesen Bedingungen ergibt sich ein Lichtwechsel, dessen Amplitüde rund $1/4$ Größenklasse betragen würde, mit Maxima bei den Anomalien 90° und 270° und Minima bei 0° und 180°. Man kann die Lichtkurve des Trabanten unter der Voraussetzung, daß die Helligkeit proportional dem Inhalt seiner Scheibe sei, mittels der Formel $r = \frac{a \cdot b}{\sqrt{a^2 - (a^2 - b^2)\sin^2\varphi}}$ leicht berechnen. Es bedeutet φ die Anomalie, a die große, dem Jupiter zugekehrte Halbachse, die in der Ebene der Trabantenbahn liegend gedacht ist, b die dazu senkrechte, in derselben Ebene liegende Halbachse, r die Länge der großen Halbachse der scheinbaren Figur des Trabanten bei der Anomalie φ, in derselben Einheit wie a und b; $a = 5$, $b = 4$. Dann ergibt sich für den ersten Quadranten von φ folgende Lichtkurve:

φ	Helligkeitsdifferenz gegen $\varphi = 0$	φ	Helligkeitsdifferenz gegen $\varphi = 0$
0°	$0^m.00$	50°	$+0^m.13$
10	+0.01	60	+0.17
20	+0.02	70	+0.21
30	+0.05	80	+0.23
40	+0.09	90	+0.24

Die übrigen Quadranten kann man sich wegen der Symmetrie des Lichtwechsels leicht ergänzen. Tatsächlich zeigt ja nun die beobachtete Lichtkurve von I eine gewisse Ähnlichkeit mit einem solchen Verlauf, sodaß man das Mitspielen der in Rede stehenden Ursache bei der Erzeugung des Lichtwechsels vermuten könnte; ich möchte jedoch kein großes Gewicht auf die Ähnlichkeit legen, die vielleicht nur eine zufällige ist.

W. H. Pickering, der zuerst die Elliptizität von I bemerkte, kommt aus seinen Beobachtungen (1892 und 94), wie schon bemerkt, zu dem abweichenden Schluß, daß dieser Trabant um eine seiner kleinen Achsen in 13 Stunden in retrograder Richtung rotiere. Ebenso erschienen ihm die übrigen Monde in regelmäßigen Zwischenzeiten elliptisch. Die Periode schien bei II 41.4 Stunden (die halbe Umlaufszeit) zu betragen. Bei III war die Elliptizität am leichtesten wahrnehmbar und betrug etwa 7 : 6; ihre Maxima treten 34 Stunden nach den Konjunktionen ein, also bei den Anomalien 70° und 250°. IV war meist kreisrund, nur nahe der Konjunktion erschien er elliptisch und seine große Achse senkrecht zur Bahn. Die Beobachtungen von Douglas widersprechen den Wahrnehmungen von Campbell und Schaeberle und denjenigen von Pickering. Er findet die Periode der Änderungen der scheinbaren Elliptizität von I zu wahrscheinlich 12.4 Stunden und die Richtung der Rotation direkt.

Angesichts dieser Widersprüche ist es wohl zweifellos, daß zum wenigsten die Elliptizität des I. Trabanten nicht reell ist, und daß die Wahrnehmungen auf andere Ursachen zurückzuführen sind. Zunächst könnte man physiologische Ursachen vermuten, etwa die Möglichkeit, daß unter gewissen Umständen bei stark angestrengtem Sehen infolge unwillkürlicher Anspannungen der Augenmuskeln momentaner und leicht veränderlicher Astigmatismus des Auges eintreten könne, eine Möglichkeit, deren Wahrscheinlichkeit ich nicht zu beurteilen vermag. Vielleicht weisen auch die Erscheinungen auf partiell vermehrte Irradiation infolge von Stellen größerer Leuchtkraft auf den Scheiben der Trabanten hin, und dann wäre ein Zusammenhang zwischen den Erscheinungen und dem Lichtwechsel zu konstatieren möglich.

Digitized by Google

IX.

Ursachen der Veränderlichkeit der Lichtkurven. Möglichkeit der Bestimmung der Neigungen der Rotationsachsen der Trabanten I, II und III.

Es sollen nun alle diejenigen möglichen Ursachen der Veränderungen der Lichtkurven der Trabanten aufgezählt werden, welche gegenwärtig noch nicht zu übersehende Wirkungen haben können; es bleiben also solche außer acht, wie der Einfluß der Phase etc.

Von der ersten, dem Vorhandensein von Atmosphären auf den Trabanten, ist schon verschiedentlich die Rede gewesen. Es ist von jeher angenommen worden, daß die Trabanten bedeutende und dichte Atmosphären besäßen, deren wechselnde Prozesse (Wolkenbildungen, Aufklärungen) die unregelmäßigen Störungen des periodischen Ganges der Helligkeitsänderungen erklären sollten. Die Bestätigung dieser Ansicht ist wohl nur von der Spektralanalyse zu erhoffen, da bisher die Scheiben der Trabanten zufolge ihrer Kleinheit der direkten Beobachtung keine sicheren Anhaltspunkte geliefert haben. Aber auch die Untersuchung der Spektra der Trabanten ist ihrer Lichtschwäche wegen mit überaus großen Schwierigkeiten verknüpft; es liegen aus diesem Grunde gegenwärtig nur zwei Daten vor, die Ergebnisse visueller Beobachtungen von H. C. Vogel, die gelegentlich der berühmten Untersuchungen über die Spektra der Planeten auf der hiesigen Sternwarte angestellt worden sind, und die kurzen Bemerkungen von Slipher (Lowell Observatory Bull. No. 16), die auf photographischen Aufnahmen, Ende 1904, basieren *). Vogel sah mit einiger Bestimmtheit in den Spektren der Monde zwei Absorptionsstreifen im Roten, die auch im Jupiterspektrum auftreten und von denen der eine das bekannte Jupiterband bei 618 $\mu\mu$ ist, woraus zu schließen wäre, daß die Trabanten ähnliche Atmosphären besitzen wie Jupiter. Sliphers Aufnahmen des III. Trabanten mit rotempfindlichen Platten zeigen dagegen keine Spur des Bandes bei 618 $\mu\mu$; Slipher bemerkt allerdings selbst, daß die Aufnahmen zur Entdeckung schwacher Absorptionsstreifen nicht gut geeignet gewesen seien. Es scheint jedoch, daß die Atmosphären der Trabanten keinesfalls sehr mächtig sind. Eine Atmosphäre von der Ordnung und Beschaffenheit wie die irdische, würde aber wohl genügen, um noch viel bedeutendere Veränderungen der Lichtkurven hervorzurufen als die aus den Beobachtungen tatsächlich sich ergebenden.

Die zweite Ursache wäre das Vorhandensein einer beträchtlichen physischen Libration der Monde, betreffs derer jedoch gegenwärtig wenig Sicheres zu ermitteln ist. Ihrem ganzen Wesen nach müßte dieselbe hauptsächlich in Länge wirken, sodaß vor allem kleine periodische Verschiebungen der Lagen der Maxima und Minima zu erwarten wären. Da auch die gleich zu besprechende dritte Ursache solche periodischen Verschiebungen erzeugen würde, so müßte zunächst die Ermittlung der Perioden der etwa auftretenden Verschiebungen angestrebt werden, da hieraus sich das einzige Unterscheidungsmittel ableitet. Übrigens ist es wenig wahrscheinlich, daß so beträchtliche physische Librationen der Trabanten, wie sie hier gefordert werden müssen, damit sie überhaupt noch durch photometrische Beobachtungen erkannt werden können, vorhanden sind. Selbst bei II wird eine Libration, deren Amplitüde etwa 2° beträgt, ziemlich schwer nachzuweisen sein. Wenn man aber vom Erdmond auf die übrigen Trabanten schließen darf, so ist wenig Hoffnung vorhanden, daß so große Librationen gefunden werden sollten.

Die dritte Ursache endlich ist selbst der ersten an Wahrscheinlichkeit überlegen; sie ist schon früher gelegentlich der genauen Berechnung der Rotationsphase flüchtig berührt worden. Um die parallaktische Wirkung der jährlichen Bewegung der Erde um die Sonne, sowie der Bewegung des Jupiter in seiner Bahn auf die Rotationsphase rechnerisch darstellen zu können, mußte die Annahme gemacht werden, daß die Rotationsachsen der Trabanten auf der Ekliptik nahezu senkrecht ständen. Dies wird nun in Wirklichkeit nicht der Fall sein; für Trabant I scheinen Barnards Beobachtungen eine Neigung des Äquators von einigen Zehnern von Graden gegen den Äquator des Jupiter anzudeuten. Sind aber die Neigungen beträchtlich von null verschieden, so werden die beobachteten Lagen der Maxima und Minima der Lichtkurven um die berechneten mittleren Lagen Schwankungen zeigen, die nach zwei Perioden gehen, nämlich nach einer, die gleich dem synodischen Umlauf des Jupiter ist, welcher rund 13 Monate beträgt, und nach einer zweiten, die gleich $^1/_2$ Umlaufszeit des Jupiter um die Sonne, also gleich 6 Jahren ist. Die Amplitüde der ersteren Schwankung wird einer Variabilität unterworfen sein, deren Periode ebenfalls einen halben Umlauf des Jupiter um die Sonne gleich ist. Ihre extremen Werte sind genähert 0° und $24° (1 - \cos i)$, wenn i die Neigung des Trabantenäquators gegen die Ekliptik ist. Für $i = 30°$ z. B. würde $24° (1 - \cos i)$ rund 3° betragen, was durch photometrische Beobachtung bei den drei inneren Trabanten immerhin noch eben festgestellt werden könnte, am leichtesten natürlich bei Trabant II; die Zeit des Minimums des Trabanten II bei 280°, das sich innerhalb 4 Stunden abspielt, würde unter diesen Umständen um rund $^3/_4$ Stunden veränderlich sein. Die sechsjährige Schwankung hat eine Amplitüde von $2 \operatorname{tg}^2 {}^1/_2 i$, für $i = 30°$ eine solche von 8°, würde also leichter als die erste zu entdecken sein. Es müssen jedoch nicht nur die Lagen der Maxima und Minima und deren Bewegungen veränderlich, sondern auch der Verlauf mancher dieser Phänomene muß je nach dem Ort des Jupiter in seiner Bahn ein merklich verschiedener sein. Dies ist leicht ersichtlich, wenn man bedenkt, daß der Verlauf einiger der Maxima und Minima von der Größe des von der Erde aus sichtbaren Bogens abhängt, den die Flecken der Trabanten auf den Scheiben beschreiben, und der selbst hinwiederum von der scheinbaren Lage der Rotationspole auf den Scheiben abhängt. Diese Veränderungen werden eine Periode von 12 Jahren zeigen. Wir werden im nächsten Abschnitt sehen, wie vermittels der Annahme einer merklichen Neigung der Äquatorebenen der Trabanten unter einer gewissen Voraussetzung bezüglich der Beschaffenheit der reflektierenden Oberflächen alle periodischen Ver-

*) Die neueren auf Spektrogrammen beruhenden Untersuchungen Vogels erstrecken sich nur auf den brechbaren Teil des Spektrums und können aus diesem Grunde naturgemäß auf die vorliegende Frage keine Antwort geben.

Digitized by Google

änderungen der Lichtkurven, erklärt werden können. Das Zutreffen dieser Voraussetzung würde allerdings zur Folge haben, daß die periodischen Veränderungen der Lichtkurven sich in etwas andererer Weise vollzögen, da sie in diesem Falle u. a. von der Figur der Flecke in viel höherem Maße abhängig sein würden.

Umgekehrt könnte man aber auch, wenn die betreffende Hypothese durch die Beobachtung nicht bestätigt werden sollte, die beobachteten und als periodisch festgestellten Veränderungen, wie leicht ersichtlich ist, zu einer wenn auch rohen Bestimmung der Neigungen der Rotationsachsen der drei inneren Trabanten gegen die Ekliptik verwerten; bezüglich des Trabanten IV allerdings ist wenig Aussicht in dieser Beziehung vorhanden, da seine Lichtkurve gänzlich ungeeignet für so subtile Untersuchungen ist. Obwohl der Gang der Untersuchung jedem Sachverständigen sofort klar vor Augen liegt, ist es vielleicht doch der Vollständigkeit halber nicht unangebracht, denselben kurz zu skizzieren. Zunächst ist es nötig, den Knoten des Trabantenäquators auf der Ekliptik zu bestimmen. Die Zeiten, zu welchen die Differenz $A - A'$ (A die unter der Voraussetzung $i = 0$ berechnete Reduktion der Beobachtung eines Helligkeits-Minimums oder -Maximums auf die Sonne, $A - A'$ die Abweichung der Beobachtung von der Rechnung) ihren Höchstbetrag erreicht, sind die Momente, in denen die Sonne die Äquatorebene des Trabanten, mithin den ☊ oder ☋ passiert; für diese Momente ist genähert $\frac{A'}{A} = \cos i$. Man sieht, daß i nur seinem absoluten Wert nach, und der Knoten mit der Ungewißheit, ob es sich um den ☊ oder ☋ handelt, bestimmt werden kann. Die Maxima der sechsjährigen Schwankung fallen auf die Zeiten, zu welchen die Sonne 45° von den Knoten, gerechnet auf dem Trabantenäquator, entfernt ist; sie sind aber vermischt mit dem Einfluß der ersten Schwankung. Die reinen Werte ihrer Maxima liefern vermittels der Gleichung $\operatorname{tg} B = \operatorname{tg}^2 \frac{1}{2} i$ die Neigung, wenn B die Abweichung der beobachteten Lage der Helligkeitsphänomene von der mit $i = 0$ berechneten ist. Für die Zwischenzeiten kann man ebenfalls leicht, sobald ☊ und i einigermaßen bekannt sind, alle Bestimmungen der Lage eines Helligkeits-Maximums oder -Minimums zur Verbesserung von ☊ und i verwenden, indem man die bekannte Gleichung für die Reduktion eines Planetenortes auf die Ekliptik zu einem graphischen oder rechnerischen Näherungsverfahren benutzt. Daß auch im günstigsten Falle die gefundenen numerischen Werte von ☊ und i, abgesehen von der oben bemerkten Unbestimmtheit, bei dem heutigen Stande der praktischen Photometrie nur sehr rohe Näherungswerte darstellen können, bedarf keines besonderen Hinweises. Natürlich steht und fällt die Möglichkeit einer Bestimmung von ☊ und i mit dem Zutreffen der stillschweigend gemachten Voraussetzung, daß die physischen Ursachen der Helligkeitsbewegungen der Trabanten an sich konstant und daß sie nicht von der Art sind, daß die Figur der Flecke eine wesentliche Rolle bei den Helligkeitsänderungen spielt. Wie aus früheren Darlegungen schon ersichtlich geworden ist, kann das bisher vorliegende Beobachtungsmaterial in keiner Weise eine Antwort auch nur auf die Frage, ob i bei einem der Trabanten klein oder beträchtlich sei, liefern. Bemerkenswert ist jedoch, daß zwischen den Beobachtungen des Trabanten II bei 280° von Auwers und den Bothkamper Beobachtungen im Frühjahr 1905 rund $3\frac{3}{4}$ Umläufe des Jupiter liegen, zwischen denjenigen Pickerings und den Bothkamper $2\frac{1}{3}$ resp. $2\frac{1}{4}$ Umläufe. *)

X.

Versuch einer Erklärung der Helligkeitsänderungen, die alle Erscheinungen umfaßt.

Die im folgenden mit aller Reserve aufgestellte Hypothese über die Ursachen des Lichtwechsels der Trabanten verdankt ihren Ursprung der Erkenntnis, daß die beobachteten rapiden Helligkeitsbewegungen der drei inneren Trabanten durch die bloße Annahme von hellen und dunkeln Flecken auf den Trabantenoberflächen bei Gleichheit von Rotations- und Umlaufszeit in zwangloser Weise teilweise nicht erklärt werden können. Die Schwierigkeit, die Lichtkurven der genannten Satelliten durch Annahme von Flecken allein darzustellen, erhellt besonders eindringlich aus der Betrachtung des Minimums von Trabant II bei 280°. Nimmt man zunächst an, dasselbe werde durch einen dunkeln Fleck hervorgebracht, so darf dieser in Richtung des Rotationsäquators nicht mehr als 9° (halbe Dauer des Minimums) ausgedehnt sein und außerdem muß ihm unmittelbar ein ebenfalls schmaler heller Fleck folgen, der imstande ist, die Wiederherstellung der ursprünglichen Helligkeit zu bewirken. Gibt man aber dem dunkeln Fleck die zur Darstellung des Minimums möglichst günstige Gestalt, die eines von Pol zu Pol sich erstreckenden sphärischen Zweiecks vom Winkel 9°, und setzt die Albedo des Flecks gleich null, so beträgt die durch ihn bewirkte größte Lichtabnahme, wenn er am Rande der Scheibe steht, $0^m.02$ (Lommel-Seeligersches Beleuchtungsgesetz), während die beobachtete Helligkeitsabnahme etwa $\frac{1}{2}$ Größenklasse ausmacht. Nimmt man dagegen an, daß die Oberfläche des Trabanten an zwei Stellen, die der Einfachheit halber auf seinem Äquator liegen mögen, und deren trabantographische Entfernung voneinander etwa 160° betragen müßte, eine besonders hervorragende Leuchtkraft besäße, so läßt sich zwar das Minimum und gleichzeitig das Maximum bei 110° leicht darstellen, aber man ist gezwungen, bezüglich der beiden Oberflächenstellen einen hohen Grad von Eigenlichtentwicklung zu fordern und diese ist recht unwahrscheinlich. Es bleibt noch eine dritte Erklärungsmöglichkeit, die nichts fordert, was nicht von vornherein als wahrscheinlich für die Trabanten gilt, wenn anders die Möglichkeit zugegeben wird, daß die Oberflächen der drei inneren Trabanten stellenweise spiegelnde Beschaffenheit haben. Trifft diese Annahme zu, so wird das Gesamtlicht, das z. B. Trabant II der Erde zusendet, im allgemeinen zusammengesetzt sein aus dem zerstreut-

*) Man vergleiche hierzu den Nachtrag am Schluß der Abhandlung.

Digitized by Google

reflektierten und dem von dem nahe punktförmigen Spiegelbildchen der Sonne ausgehenden Licht. Wegen der großen Entfernung des Jupiter wird dieses Spiegelbild stets nahe der Mitte der Scheibe liegen, von der es sich um höchstens 12° entfernen kann. Bewegt sich nun im Verlauf der Rotation über die Stelle, wo von der Erde aus gesehen das Spiegelbild der Sonne sich befindet, ein kleines Oberflächengebiet, das keine spiegelnde Eigenschaft besitzt, und das ich der Kürze halber »Insel« nennen werde, obwohl ich durchaus nicht speziell an Flüssigkeitsflächen auf den Trabanten denken möchte, so wird das Spiegelbild der Sonne eine Zeitlang verdeckt werden; es verschwindet wegen seines geringen Durchmessers zunächst sehr schnell an der vorangehenden Seite der »Insel« und taucht nachher ebenso schnell wieder auf. Parallel damit muß also eine rapide Helligkeitsabnahme und nach einer Zeit, die von der Ausdehnung der »Insel« in Richtung des Äquators abhängt, eine ebenso schnelle Wiederherstellung der ursprünglichen Helligkeit gehen. Der gelegentliche Ausfall eines Minimums würde dadurch zu erklären sein, daß bei gewissen Stellungen von Erde, Sonne und Jupiter zueinander infolge merklicher Neigung des Trabantenäquators gegen die Ekliptik die »Insel« an dem Spiegelbild der Sonne vorbeigeht, ohne dasselbe zu verdecken. Man sieht, daß in diesem Falle die Figur der die Helligkeitsänderungen erzeugenden Flecke unter allen Umständen von wesentlichem Einfluß ist; die Beobachtung der periodischen Veränderungen gewisser Helligkeitsphasen wird dann nur feststellen können, ob die Neigungen der Trabantenäquatoren gegen die Ekliptik merkliche Beträge erreichen oder nicht.

Es bleibt noch übrig zu untersuchen, wie groß ungefähr die Helligkeit des Sonnenbildchens sein kann und ob es überhaupt einen merklichen Beitrag zur Gesamthelligkeit zu liefern imstande ist. Diese Frage ist ohne weiteres zu bejahen. Nimmt man an, daß der mittlere Teil der zu einer gegebenen Zeit von der Erde aus sichtbaren Trabantenhemisphäre, den wir uns kreisförmig begrenzt denken wollen, spiegelnde Eigenschaft besitze, so ist klar, daß das Verhältnis der Helligkeit des Sonnenbildchens zur Gesamthelligkeit des Trabanten bei konstanter Albedo allein von dem Flächeninhalt der zerstreut reflektierenden Randzone der Trabantenscheibe abhängt, so lange der Durchmesser der spiegelnden Fläche oberhalb einer gewissen Größe bleibt. Ist die ganze Halbkugel spiegelnd, so ist die Helligkeit des Sonnenbildchens zugleich die Gesamthelligkeit des Trabanten. Die scheinbare Helligkeit des Sonnenbildchens läßt sich sehr leicht berechnen, wenn man die für kleine spiegelnde Kugeln und große Entfernungen geltende Formel $\delta = \frac{k \cdot F \cdot q \cdot \varrho^2}{4 a^2 c^2}$ (Müller, Photometrie S. 230) in unserem Falle anwenden darf. Man erhält dann für Trabant II, der wiederum als Beispiel dienen möge, rund $6^m_.4$, wenn der Reflexionskoeffizient k gleich 1 gesetzt wird (Sonnenhelligkeit $-26^m_.60$). Die Gesamthelligkeit des Trabanten unter Voraussetzung vollkommen diffuser Reflexion der ganzen sichtbaren Halbkugel ist nach der Formel $M_0 = \frac{1}{2} A_2 \frac{\sin^2 \sigma_0 \sin^2 s_0}{\sin^2 S}$ (Müller, Photometrie S. 65) $5^m_.64$, wenn die Albedo A_2 ebenfalls gleich 1 (nahe die mittlere Albedo) gesetzt wird; dieser Betrag ist also die obere Grenze des aus der zerstreuten Reflexion herrührenden Teiles der Gesamthelligkeit, der hiermit berechnete Anteil des Sonnenbildchens an der Gesamthelligkeit wird also zu klein, so lange der Durchmesser des nahe der Mitte der Scheibe liegenden spiegelnden Teiles der Trabantenhemisphäre oberhalb einer gewissen Grenze bleibt. Dieser Anteil berechnet sich zu 50 %, während die beobachtete Abnahme der Helligkeit des Trabanten II im Minimum bei 280° ungefähr 37 % beträgt. Addiert man die beiden Helligkeiten $6^m_.4$ und $5^m_.64$, so erhält man die unter den angenommenen Verhältnissen stattfindende obere Grenze für die Gesamthelligkeit des Trabanten, sie ist $5^m_.20$. In Wirklichkeit werden nun A_2 und k numerisch nicht gleich sein, auch werden Modifikationen dadurch eintreten müssen, daß weder die diffuse Reflexion, noch die Spiegelung eine reine sein wird, und daß vielleicht auch noch eine Zerstreuung des gespiegelten Lichtes infolge einer Atmosphäre stattfindet. Bemerkt sei noch, daß die Annahme teilweiser Spiegelung zugleich die Erklärung der hohen Albedowerte der drei inneren Trabanten in sich birgt. Im übrigen soll diese Hypothese vorläufig nur als Richtschnur für die Beobachtung, sowohl die photometrische also die planetographische, dienen, die bisher notgedrungen etwas planlos verfahren ist. Besonders erwünscht wären Beobachtungen des Trabanten II bei der Anomalie 110° und in der Umgebung der Anomalie 280°, von denen die erstere 26^h nach, die letztere 19^h vor der geozentrischen oberen Konjunktion stattfindet. Ob an sehr großen Instrumenten unter günstigen Umständen das von der Hypothese geforderte Spiegelbild der Sonne direkt wahrnehmbar sein müßte, entzieht sich meiner Beurteilung; ich möchte aber glauben, daß es nur dann möglich sein dürfte, wenn die Spiegelung eine sehr vollkommene ist. Vielleicht könnten aber die scheinbaren Veränderungen der Größen der Trabantenscheiben mit der Sache in Zusammenhang stehen.

Digitized by Google

Tafel I.

1. Messungen.

1904-05	Sternzeit	M. Z. Berlin	Objekt	z	ζ	log sin² ζ + Extinkt.	Reduktion auf mittlere Opposition	α	Größe	Anomalie	Bemerkungen
Dez. 18	3h 19m	9h 44m	IV	53°5	19°75	9.1181	+0m.04	10°5	6m16	91°	Reduktion: $\frac{162+170}{2}$, $y = 0.80$ Kolorimeter 95°, Diaphragma 2, Durchsichtigkeit der Luft 2–3 anfangs zuweilen Wolken, Luftruhe 4 (sehr unruhige Bilder, besonders zuletzt). Vergrößerung 100
	27	52	I	54.2	28.12	9.4100			5.58	118	
	35	10 0	II	55.0	24.15	9.2905			5.82	308	
	42	7	III	55.7	35.80	9.6040			5.19	312	
	49	14	IV	56.4	16.08	8.9577			6.48	91	
	57	22	I	57.4	28.70	9.4406			5.51	123	
	4 4	29	IV	58.2	16.22	8.9740			6.45	92	
	14		162	59.6	36.35	9.6352			5.12		
	29		170	58.7	11.45	8.6801			7.12		
	34		162	61.9	35.68	9.6359			5.12		
	44	11 9	IV	62.9	17.30	9.0577			6.28	92	
	5 9	34	II	66.3	25.30	9.4008			5.88	315	Reduktion: $\frac{162+170}{2}$, $y = 0.80$ Lampe neu gefüllt
	16	41	III	67.2	39.05	9.7466			5.19	315	
	24		170	65.7	12.18	8.7823			7.12		
	32		162	69.3	41.92	9.8208			5.12		
Dez. 19	23 51		162	51.7	31.55	9.4912	+0.05	10.5	5.12		Reduktion: $\frac{162+170}{2}$, $y = 1.00$ Kolorimeter 95°, Diaphragma 2, Luftruhe 4, Himmel anfangs unrein, zuletzt Durchsichtigkeit 3 bei Jupiter, sonst sehr unrein, bald ganz bewölkt. Vergrößerung 100
	57		170	49.6	12.80	8.7380			7.12		
	0 7	6 29	IV	49.6	17.15	8.9862			6.39	109	
	12	34	I	49.3	24.72	9.2889			5.63	294	
	19	41	III	48.9	26.40	9.3409			5.50	355	
	24	45	II	48.7	25.28	9.3053			5.59	36	
	27	48	IV	48.6	17.55	9.0026			6.35	110	
Jan. 7	0 39.8	5 47	IV	47.9	16.90	8.9689	+0.18	11.4	6.39	158	Ausgleichung: $x = 0^m.00$, $y = 1.00$ Kolorimeter 85°, Diaphragma 2. Stürmisch aber klar; Bilder sehr gut, künstliche Sterne und Trabanten nicht zu unterscheiden, auch die Fixsterne ganz gleich den künstlichen Sternen. Die letzte Messung (143) ist etwas unsicher, da die Lampe fast leer war. Vergr. 100
	47.8	55	II	47.7	24.38	9.2731			5.63	158	
	52.8	6 0	I	47.6	20.99	9.1493			5.94	194	
	59.8	6	III	47.4	29.12	9.4150			5.28	228	
	1 13.8		140	51.1	27.75	9.3878			5.56		
	21.8		160	47.4	16.40	8.9422			6.71		
	32.8		134	48.1	19.45	9.0874			6.19		
	45.8		143	43.7	13.28	8.7540			7.11		
	3 21.8		HP 215	53.3	11.82	8.6819			7.11		Reduktion: $\frac{140+160}{2}$, $y = 0.84$ Lampe neu gefüllt. Luft unruhiger, Bilder verwaschen, zuletzt sehr unruhig. Messungen der Intensität der Jupiterscheibe: Äquatorgegend, Rand 19°8, Mitte 23°65. Direkt oberhalb des südlichsten Streifens: Rand 16°5, Mitte 23°05. Darauf mit Vergr. 250 u. voller Öffnung den Vorübergang von II beobachtet. Schlechter Luftzustand, später bewölkt
	39.8		140	59.2	26.65	9.3909			5.56		
	49.8		160	55.7	14.60	8.8728			6.71		
	59.8	9 6	III	57.0	28.95	9.4456			5.32	235	
	4 7.8	14	I	57.9	23.70	9.2886			5.66	221	
	15.8	22	II	58.9	19.60	9.1368			5.97	172	
	22.8	29	IV	59.7	16.72	9.0079			6.24	162	
	31.8		160	60.6	14.28	8.8799			6.71		
	42.8		140	66.5	26.62	9.4438			5.56		

Digitized by Google

1905	Sternzeit	M. Z. Berlin	Objekt	z	ζ	log $\sin^2 \zeta$ + Extinkt.	Reduktion auf mittlere Opposition	α	Größe	Anomalie	Bemerkungen
Jan. 13	$1^h 25^m.2$	6^h 8^m	II	46°.9	25°.30	9.3885	$+0^m.23$	11°.4	—	46°	Bilder sehr verwaschen, sodaß nicht gemessen werden konnte
	4 25.2	9 8	III	59.5	31.90	9.5351			$5^m.38$	176	Reduktion: $\frac{140+160}{2}$, $y = 0.80$ Von jetzt ab stets Kolorimeter 93°, Diaphragma 2. Vergr. 100. Luft besser. III ganz nahe an der Scheibe des Jupiter, seine Farbe gleich der des Planeten, er wurde $5^h 30^m$ zuletzt gesehen
	35.2	18	III	60.7	30.32	9.5026			5.45	176	
	45.2	28	II	62.0	26.42	9.4973			5.45	60	
	50.2	33	IV	62.6	17.80	9.1222			6.21	290	
	5 4.2		140	69.2	29.60	9.5574			5.56		
	25.2	10 8	II	67.3	27.22	9.5715			5.31	63	
	35.2	18	IV	68.7	17.88	9.1816			6.13	290	
	6 5.2		160	73.0	13.88	8.9832			6.71		
Jan. 14	4 39.4		140	65.9	27.85	9.4744	+0.24	11.4	5.56		Reduktion: $\frac{140+160}{2}$, $y = 0.88$ Vergröß. 100. Luftruhe 3–4, Bilder quirlend, zuweilen jedoch gut, zuletzt schlechter = 4
	45.4		160	62.1	16.00	8.9861			6.71		
	54.4	9 33	II	63.0	25.62	9.3835			5.66	162	
	59.4	38	I	63.7	28.32	9.4693			5.47	209	
	5 5.4	44	III	64.5	37.08	9.6840			5.00	228	
	12.4	51	IV	65.5	18.98	9.1563			6.16	311	
	23.4		160	67.2	16.18	9.0382			6.71		
	33.4		140	73.2	28.85	9.5935			5.56		
	42.4	10 21	II	69.6	23.68	9.3825			5.67	166	
	47.4	26	I	70.3	26.58	9.4852			5.44	215	
	52.4	31	III	71.0	32.95	9.6641			5.04	229	
	6 0.4	39	IV	72.1	19.05	9.2364			5.99	312	
	10.4		160	73.7	14.32	9.0218			6.71		
Jan. 15	1 42.4	6 18	I	47.1	29.35	9.4205	+0.24	11.4	5.73	24	Reduktion: $\frac{140+160}{2}$, $y = 0.72$ Vergröß. 100. Bilder gut, allmählich schlechter, die letzte Messung (160) schwierig wegen Unruhe
	49.4	24	II	47.2	29.05	9.4127			5.75	250	
	55.4	30	IV	47.4	21.82	9.1810			6.16	330	
	2 3.4	38	III	47.6	42.00	9.6922			5.24	272	
	15.4		140	52.6	38.58	9.6469			5.56		
	25.4		160	49.0	17.62	9.0072			6.71		
	3 20.4		160	52.8	18.32	9.0526			6.71		Reduktion: $\frac{140+160}{2}$, $y = 0.72$ Verwaschene Bilder, schwierig, zuletzt ist die Lampe fast leer
	31.4		140	58.3	39.15	9.6830			5.56		
	44.4	8 19	I	54.7	32.00	9.5138			5.65	42	
	51.4	26	II	55.4	29.45	9.4518			5.76	259	
	59.4	34	IV	56.2	21.45	9.1982			6.22	332	
	4 5.4	40	III	56.9	43.85	9.7565			5.21	276	
	17.4		140	63.2	38.80	9.7073			5.56		
Jan. 16	1 0.5	5 32	II	47.2	27.05	9.3557	+0.25	11.4	5.60	348	Reduktion: $\frac{140+160}{2}$, $y = 1.00$ Vergr. 100. Stürmisch, sodaß das Fernrohr schwankt; Ruhe 3, allmählich jedoch schlechter = 4
	8.5	40	I	47.0	30.48	9.4501			5.36	222	
	13.5	45	IV	46.9	19.42	9.0829			6.28	351	
	20.5	52	III	46.8	35.12	9.5590			5.09	320	
	38.5		140	51.5	31.78	9.4962			5.56		
	48.5		160	47.8	17.15	8.9810			6.71		
	3 53.5		160	56.1	14.82	8.8874			6.71		Reduktion: $\frac{140+160}{2}$, $y = 1.00$ Lampe neu gefüllt, neue Fokusierung. Andauernd sehr stürmisch, Luftruhe 4, Bilder verwaschen, Messungen sehr schwierig, besonders die der helleren Objekte. Zuletzt treten dünne Wolkenschleier schnell auf, welche die letzte, vielleicht auch die vorletzte Messung beeinflußt haben
	4 5.5		140	62.0	25.82	9.3829			5.56		
	15.5	8 46	IV	58.1	15.38	8.9285			6.41	354	
	22.5	53	I	58.9	22.38	9.2469			5.61	249	
	27.5	58	III	59.5	30.05	9.4888			5.01	327	
	36.5		140	65.5	24.92	9.3812			5.56		
	48.5		160	62.5	(10.98)	(8.6679)			6.71		

Digitized by Google

1905	Sternzeit	M. Z. Berlin	Objekt	z	$\mathcal{J}$	log sin² $\mathcal{J}$ + Extinkt.	Reduktion auf mittlere Opposition	α	Größe	Anomalie	Bemerkungen
Jan. 17	1ʰ 2ᵐ.6		159	47°.0	16°.90	8.9664	+0ᵐ.26	11°.4	6ᵐ.50		Reduktion: $\frac{140+159+160}{3}$, $y = 1.00$
	8.6	5ʰ 36ᵐ	II	46.9	24.22	9.2654			5.53	89°	Vergr. 100. Windig, Luftruhe 2–3; Luft
	13.6	41	IV	46.8	17.58	8.9991			6.19	12	zuerst unrein und sehr zweifelhaft, wes-
	19.6	47	I	46.8	26.48	9.3376			5.34	66	halb zuerst nur der 1 Minute von Ju-
	25.6		159	46.7	17.60	8.9998			6.50		piter entfernte PD_1 159 gemessen wur-
	38.6		159	46.9	17.98	9.0183			6.50		de. Allmählich wird der Himmel in
	44.6	6 12	II	47.0	24.92	9.2889			5.47	92	der Umgebung des Jupiter günstiger.
	49.6	17	IV	47.2	16.05	8.9235			6.38	13	Um 3ʰ.9 ist der Himmel ganz ver-
	55.6	23	I	47.3	24.52	9.2765			5.50	71	schleiert
	2 0.6		159	47.4	17.68	9.0055			6.50		
	11.6		160	48.4	14.78	8.8569			6.71		
	20.6		140	52.8	27.02	9.3725			5.56		
Jan. 18	1 0.2		159	47.1	16.38	8.9403	+0.26	11.4	6.50		$y = 1.00$
	4.2	5 28	II	47.0	21.32	9.1608			5.69	190	
	10.2		159	46.9	12.58	8.7155			6.50		$y = 1.00$
	17.2	41	II	46.8	17.18	8.9798			5.58	191	Vergr. 100. Luftruhe 2, verschleiert,
	21.2	45	IV	46.7	13.30	8.7624			6.12	34	innerhalb der zweiten Gruppe an-
	25.2	49	III	46.7	20.98	9.1467			5.16	61	scheinend konst. Luftzustand. Nach-
	29.2	53	I	46.8	15.10	8.8707			5.85	270	her plötzlich sehr viel dunstiger.
	35.2		159	46.9	8.88	8.4164			6.50		
Jan. 19	1 0.5		159	47.1	18.75	9.0541	+0.27	11.4	6.50		Ausgleichung: $x = -0^m.05$, $y = 0.93$
	7.5	5 27	IV	46.8	18.98	9.0635			6.01	55	Vergrößerung von jetzt ab stets 130.
	13.5	33	III	46.8	36.58	9.5895			4.79	110	Luft zuerst in jeder Hinsicht 2; bald
	19.5	39	I	46.7	28.65	9.3976			5.23	112	jedoch wird es dunstiger, daher die
	24.5	44	II	46.6	21.50	9.1668			5.77	292	Reduktion in zwei Abteilungen
	29.5		159	46.8	19.10	9.0687			6.50		
	42.5		75	44.3	26.30	9.3259			5.67		
	49.5		143	43.8	12.25	8.6853			7.11		
	58.5		140	52.0	25.88	9.3348			5.56		
	2 4.5		160	48.2	14.95	8.8661			6.71		
	13.5		196	48.4	19.28	9.0810			6.17		
	22.5		159	48.2	17.90	9.0181			6.50		Luftruhe 3. Dunstig
	30.5	6 50	IV	48.4	15.95	8.9215			6.39	57	
	35.5	55	III	48.7	33.32	9.5239			4.89	113	
	40.5	7 0	I	49.0	25.62	9.3169			5.40	123	
	45.5	5	II	49.3	21.95	9.1913			5.72	298	
	50.5		159	49.8	16.50	8.9542			6.50		
	4 8.5		159	57.2	14.60	8.8798			6.50		Reduktion: $\frac{140+159+160}{3}$, $y = 0.82$
	15.5	8 34	II	57.8	17.98	9.0588			6.01	304	Lampe neu gefüllt. Um 3ʰ5 waren
	20.5	39	I	58.4	25.45	9.3493			5.42	137	leichte Wolken in der Umgebung des
	25.5	44	III	58.9	33.48	9.5689			4.98	117	Jupiter, um 3ʰ.7 scheint es wieder klar
	30.5	49	IV	59.6	15.65	8.9516			6.24	58	zu sein. Luftruhe 3. 4ʰ.9 etwas nebelig;
	36.5		159	60.5	17.00	9.0269			6.50		im allgemeinen bis Schluß unverän-
	46.5		140	66.8	25.52	9.4125			5.56		derter Luftzustand, nur etwas unruhi-
	54.5		160	63.3	13.38	8.8428			6.71		gere Bilder gegen Schluß. Die beiden
	5 7.5		159	64.6	15.02	8.9513			6.50		letzten Messungen sogar schwierig
	11.5	9 30	IV	64.9	14.92	8.9480			6.24	59	wegen Unruhe, und bald nachher ist
	16.5	35	III	65.5	31.78	9.5750			4.96	119	Jupiter im Dunst des Horizontes
	20.5	39	I	66.1	23.60	9.3421			5.44	146	
	25.5	44	II	66.7	19.15	9.1738			5.78	309	
	29.5		159	67.5	15.72	9.0169			6.50		
	53.5	10 12	III	70.6	26.75	9.4942			5.13	120	
	58.5		159	71.6	13.42	8.9328			6.50		

Digitized by Google

1905	Sternzeit	M. Z. Berlin	Objekt	z	$\mathfrak{Z}$	log sin² $\mathfrak{Z}$ + Extinkt.	Reduktion auf mittlere Opposition	α	Größe	Anomalie	Bemerkungen
Jan. 20	$0^h40^m.2$		159	47°6	21°95	9.1864	$+0^m.28$	11°3	$6^m.50$		Mittels der Kurven reduziert, $y = 1.00$ Luftruhe anfangs 2, allmählich 3–4. Etwas verschleiert und dunstig, später anscheinend klar. Anfangs noch sehr hell. Da die Reduktion mittels der Vergleichsternmessungen für die vier Trabanten auffallende in demselben Sinne von den mittleren zu erwartenden abweichende Beträge ergab, so sind die Messungen mittels der Kurven reduziert worden; der Grund der Abweichungen ist wohl in Auffassungsdifferenzen infolge der stark wechselnden Luftruhe oder in unbemerkt gebliebener partieller Verschleierung des Himmels zu suchen. II gegen III mehr bräunlich als gelb, III goldgelb; dies ist bemerkenswert, da II sich in dem Minimum bei 30° befand. Um $2^h.8$ schrieb ich: »I ist deutlich rötlichgelb, mehr als II, der jetzt weißer erscheint als III und nur mehr rein gelb ist«. Demnach scheint mit dem Lichtwechsel ein Farbenwechsel parallel zu gehen
	46.2	$5^h\ 2^m$	II	47.4	28.88	9.4086			5.68	31°	
	51.2	7	I	47.3	31.52	9.4770			5.52	310	
	57.2		159	47.1	22.85	9.2183			6.50		
	1 3.2	19	II	47.0	25.65	9.3124			5.83	32	
	7.2	23	I	46.9	29.78	9.4315			5.51	313	
	15.2	31	III	46.7	37.72	9.6121			5.09	161	
	21.2	37	IV	46.7	21.38	9.1623			6.21	76	
	26.2		159	46.7	21.12	9.1521			6.50		
	32.2	48	II	46.7	25.28	9.2998			5.71	34	
	44.2	6 0	I	46.9	27.85	9.3782			5.50	318	
	50.2		159	47.2	21.98	9.1865			6.50		
	58.2		140	52.0	32.98	9.5267			5.56		
	2 5.2		160	48.2	18.28	9.0358			6.71		
	12.2		159	47.8	21.95	9.1870			6.50		
	19.2	35	I	47.9	25.22	9.3010			5.73	323	
	26.2	42	II	48.2	27.20	9.3629			5.58	38	
	32.2	48	III	48.5	34.75	9.5556			5.09	163	
	39.2	55	IV	48.9	19.35	9.0855			6.27	78	
	43.2		159	49.3	21.18	9.1618			6.50		
	54.2		140	55.0	32.30	9.5223			5.56		
	4 1.2		159	56.4	20.32	9.1542			6.50		Mittels der Kurven reduziert, $y = 0.86$ Lampe neu gefüllt. Luftruhe 3–4. Nach Schluß der Messungen Bedeckung von I beobachtet
	7.2	8 22	I	56.7	24.40	9.3066			5.78	338	
	14.2	29	III	57.5	34.28	9.5796			5.18	167	
	20.2	35	II	58.3	27.92	9.4232			5.50	46	
	26.2	41	IV	58.9	17.78	9.0552			6.31	80	
	32.2	47	I	59.7	24.48	9.3250			5.73	341	
	39.2		159	60.9	18.62	9.1060			6.50		
	48.2		140	67.1	31.22	9.5762			5.56		
	5 2.2	9 17	I	63.5	21.80	9.2551			5.9	346	
	7.2		159	64.6	19.22	9.1591			6.50		
	18.2	33	I	65.7	20.05	9.2039			5.9	348	
Jan. 21	2 30.5	6 42	I	48.3	33.35	9.5236	+0.28	11.3	5.32	167	Reduktion: $\frac{140+159}{2}$, $y = 1.00$ Luftruhe 3–4. Zwischen $2^h49^m.5$ und $3^h22^m.5$ Pause wegen Wolken; nachher Luftruhe 4, fast überall Wolken und Streifen, sehr verdächtig. Sehr verwaschene Bilder; von $3^h.9$ ab Luft klarer. Zur Reduktion die Messungen in Gruppen eingeteilt
	34.5		159	48.8	21.08	9.1564			6.50		
	41.5	53	II	48.9	29.62	9.4328			5.54	140	
	49.5	7 1	III	49.4	38.62	9.6370			5.03	213	
	3 22.5	34	IV	52.0	19.15	9.0867			6.41	100	
	28.5		159	52.9	20.62	9.1517			6.50		
	36.5	48	III	53.3	37.60	9.6305			5.05	215	
	42.5		159	54.3	21.60	9.1957			6.50		
	49.5	8 1	II	54.6	29.05	9.4376			5.53	144	
	56.5	8	IV	55.4	19.65	9.1218			6.32	101	
	4 4.5		159	56.7	20.58	9.1663			6.50		
	14.5		140	62.9	31.18	9.5392			5.56		
	27.5	39	III	59.1	35.25	9.6092			4.92	217	$y = 1.00$
	37.5	49	II	60.2	25.98	9.3753			5.50	148	
	43.5		159	61.4	19.12	9.1314			6.50		
	51.5	9 2	IV	62.0	17.88	9.0792			6.24	102	
	5 0.5	11	III	63.1	34.48	9.6183			4.89	218	

Digitized by Google

1905	Sternzeit	M. Z. Berlin	Objekt	z	ζ	log sin² ζ + Extinkt.	Reduktion auf mittlere Opposition	α	Größe	Anomalie	Bemerkungen
Jan. 21	5h 5m.5		159	64°.3	17°.70	9.0876	+0m.28	11°.3	6m.50		
	19.5	9h 30m	I	65.9	20.28	9.2152			5.91	191°	
	25.5		159	67.0	16.60	9.0578			6.50		
	30.5	41	I	67.2	22.35	9.3082			5.68	192	
	52.5	10 3	I	70.2	20.72	9.2799			5.74	196	
	7 14.5		159	82.5	6.95	(8.6629)			6.50		Lampe neu gefüllt. Sehr unsichere Messungen, da die Bilder wegen der großen Zenitdistanz ganz verwaschen sind. Ich war erstaunt, I so schwach zu finden
	18.5	11 29	I	82.7	8.20	(8.8168)			(5.83)	208	
Jan. 22	1 33.2		159	46.8	22.22	9.1944	+0.29	11.3	6.50		Ausgleichung: $x = -0^m.10, y = 1.06$
	41.2	5 49	IV	46.7	21.22	9.1560			6.33	120	Luftruhe 3, Durchsichtigkeit 1–2
	48.2	56	II	46.9	27.82	9.3774			5.75	237	
	54.2	6 2	III	47.0	39.65	9.6494			5.04	262	
	2 4.2		159	47.5	23.00	9.2248			6.50		
	12.2	20	II	47.5	28.65	9.4026			5.69	238	
	24.2		140	53.0	34.75	9.5704			5.56		
	34.2		75	48.0	30.52	9.4538			5.67		
	44.2		143	46.5	16.30	8.9347			7.11		
	52.2		160	50.6	21.60	9.1821			6.71		
	3 0.2		159	50.2	23.52	9.2509			6.50		
	4 27.2		159	59.4	20.80	9.1893			6.50		Lampe neu gefüllt. Luftruhe 4. Durchsichtigkeit 1–2
	35.2	8 42	I	59.9	27.22	9.4121			5.70	27	
	43.2	50	II	60.9	26.90	9.4088			5.70	249	Reduktion: $\frac{140+159}{2}$, $y = 1.00$
	50.2		159	62.3	19.78	9.1658			6.50		
	5 0.2		140	68.7	32.22	9.6179			5.56		
	12.2	9 19	I	64.8	28.65	9.4875			5.51	33	
	22.2	29	II	66.1	24.68	9.3788			5.78	252	
	27.2		159	67.2	18.65	9.1578			6.50		
Jan. 23	1 21.5	5 25	I	46.5	26.15	9.3267	+0.30	11.3	5.51	203	Ausgleichung: $x = +0^m.03, y = 0.88$
	24.5		159	46.7	18.48	9.0408			6.50		Luftruhe 3 und 2–3. Wolkenlos, aber etwas nebelig
	32.5	36	II	46.5	20.52	9.1279			5.95	337	
	38.5	42	IV	46.6	17.62	9.0006			6.24	142	
	44.5	48	III	46.7	33.95	9.5328			5.05	311	
	49.5		159	47.1	18.85	9.0585			6.50		
	2 0.5		140	52.0	31.58	9.4930			5.56		
	12.5		160	48.5	15.70	8.9084			6.71		
	19.5		75	46.7	26.00	9.3224			5.67		
	29.5		143	45.5	13.25	8.7562			7.11		
	40.5		159	49.1	18.72	9.0584			6.50		
	47.5	6 51	II	49.1	21.55	9.1755			5.85	342	
	53.5	57	I	49.5	25.95	9.3287			5.51	216	
	59.5		159	50.3	17.92	9.0253			6.50		
	4 6.5		140	62.1	25.45	9.3719			5.56		Reduktion: $\frac{140+159}{2}$, $y = 0.90$
	14.5	8 18	II	57.3	19.28	9.1148			5.83	348	Lampe neu gefüllt. Der Nebel ist anscheinend ein wenig stärker geworden; Luftruhe 3, zuweilen unruhiger
	21.5		159	58.7	15.48	8.9371			6.50		
	27.5	31	I	58.8	23.32	9.2801			5.46	229	
	34.5	38	IV	59.7	13.80	8.8452			6.44	144	
	43.5	47	III	60.8	28.90	9.4653			5.05	318	
	50.5	54	II	61.7	18.42	9.1022			5.86	351	
	59.5		159	63.4	15.42	8.9642			6.50		
	5 10.5	9 14	I	64.3	21.70	9.2576			5.51	235	
	6 8.5	10 11	I	72.3	18.75	9.2263			5.43	243	$y = 0.90$. Die Messung von 159 unsicher; Lampe während der Pause brennend erhalten. Sehr unruhig
	12.5		159	73.5	12.22	8.8828			6.50		

Digitized by Google

1905	Sternzeit	M. Z. Berlin	Objekt	z	$\mathfrak{J}$	log sin² $\mathfrak{J}$ + Extinkt.	Reduktion auf mittlere Opposition	α	Größe	Anomalie	Bemerkungen
Jan. 26	$1^h 55^m.2$		159	47°.3	21°.12	9.1538	$+0^m.32$	11°.2	$6^m.50$		Reduktion: $\frac{75+140+159}{3}$, $y = 1.15$ Luftruhe 3–4, bald 4, zuweilen noch schlechter, Bilder infolgedessen ganz verwaschen. Durchsichtigkeit 1
	2 4.2	$5^h 56^m$	III	47.0	38.12	9.6206			4.69	103°	
	12.2	6 4	I	47.3	25.65	9.3152			5.66	99	
	18.2	10	II	47.5	21.90	9.1844			6.03	283	
	23.2	15	IV	47.7	17.60	9.0025			6.55	205	
	30.2		159	48.6	20.08	9.1154			6.50		
	42.2		140	54.1	30.48	9.4734			5.56		
	55.2		75	50.0	28.75	9.4124			5.67		
	4 53.2		140	67.7	32.18	9.6059			5.56		Reduktion: $\frac{140+159}{2}$, $y = 1.00$ Lampe neu gefüllt. Die Messungen müssen bald aufgegeben werden wegen zu großer Unruhe der Luft
	5 13.2		159	65.4	19.08	9.1598			6.50		
	20.2	9 11	III	65.5	37.22	9.6952			4.98	109	
	28.2	19	I	66.5	28.58	9.5006			5.47	126	
	34.2	25	II	67.4	22.25	9.3065			5.95	297	
	40.2	31	IV	68.2	18.32	9.1534			6.34	208	
	49.2		159	70.3	19.78	9.2426			6.50		
Jan. 31	2 6.2		159	47.6	22.40	9.2032	+0.35	10.9	6.50		Ausgleichung: $x = 0^m 00$, $y = 0.94$ Sehr stürmisch, klar, aber höchst feucht u. verdächtig. Luftruhe 3–4, zuweilen 4. Die Messung von 75 wurde durch eine plötzlich entstandene Wolke gestört; bald nach der letzten Messung bewölkt
	14.2		140	52.5	36.92	9.6139			5.56		
	22.2	5 54	II	47.3	29.68	9.4299			5.47	68	
	28.2	6 0	I	47.5	29.70	9.4310			5.47	35	
	35.2	7	III	47.8	32.25	9.4962			5.32	354	
	40.2	12	IV	48.1	20.72	9.1401			6.15	313	
	47.2		159	49.6	21.60	9.1790			6.50		
	55.2		140	55.1	32.92	9.5374			5.56		
	3 5.2		75	51.1	28.85	9.4187			5.67		
	19.2		143	49.6	15.08	8.8774			7.11		
	27.2		160	53.5	17.80	9.0311			6.71		
Febr. 2	2 10.3	5 35	III	46.7	35.20	9.5602	+0.36	10.8	4.95	93	$y = 1.00$. Luftzustand in jeder Beziehung äußerst ungünstig; die erste Messung von II durch Wolken gestört; die erste Messung von 159 durch eine größere Wolkenlücke gemacht, die folgende bei klarem Himmel aber bei Ruhe 4–5. Um $3^h 0^m$ ebenfalls Wolken, ebenso $3^h 14^m$. Um $3^h 19^m$ wurde IV nochmals gemessen, jedoch durch Wolken; Lampe darauf gelöscht
	15.3	40	I	46.9	29.85	9.4333			5.27	79	
	20.3	45	IV	47.1	16.68	8.9557			6.47	355	
	25.3	50	II	47.3	24.62	9.2799			5.66	270	
	36.3		159	48.9	19.28	9.0824			6.50		
	44.3		159	49.4	19.42	9.0900			6.50		
	3 0.3	6 24	III	49.2	34.05	9.5420			5.00	95	
	14.3	38	I	50.3	27.35	9.3735			5.42	87	
	5 33.3	8 57	IV	66.3	17.10	9.0760			—	358	Lampe von $5^h 33^m$–$6^h 32^m$ brennend erhalten. Wolken
	6 32.3	9 56	II	74.7	9.65	8.7023			5.70	287	Sehr unruhig, unsichere Messung, Wolken
	32.3	56	IV	74.7	6.75	8.3941			(6.47)	359	
Febr. 3	3 3.4	6 24	III	49.3	36.55	9.5959	+0.37	10.8	5.02	145	Reduktion: $\frac{75+140+159}{3}$, $y = 1.00$ Luftruhe 3, verdächtig, da kurz zuvor Wolken. Allmählich unruhiger, 3–4, zuletzt Wolken
	7.4	28	IV	49.6	19.15	9.0788			6.31	18	
	14.4	35	I	50.2	29.20	9.4254			5.45	290	
	20.4		159	52.3	20.05	9.1262			6.50		
	29.4		140	58.1	33.30	9.5505			5.56		
	41.4		75	55.4	29.70	9.4584			5.67		
	52.4		159	55.4	21.02	9.1779			6.50		
	4 2.4	7 22	III	54.8	33.32	9.5455			5.15	147	
	7.4	27	IV	55.3	19.08	9.0968			6.27	18	
	12.4	32	II	55.9	27.68	9.4047			5.50	19	
	19.4	39	I	56.8	30.90	9.4960			5.27	299	

Digitized by Google

1905	Sternzeit	M. Z. Berlin	Objekt	z	ζ	log sin² ζ + Extinkt.	Reduktion auf mittlere Opposition	α	Größe	Anomalie	Bemerkungen
Febr. 3	4ʰ27ᵐ4		159	59°4	19°25	9.1247	+0ᵐ37	10°8	6ᵐ50		
	36.4	7ʰ 56ᵐ	II	58.8	26.98	9.3986			5.51	20°	
	45.4		140	66.7	31.25	9.5730			5.56		
Febr. 7	2 27.2	3 32	III	46.9	36.35	9.5850	+0.40	10.5	5.03	343	Ausgleichung: $x = 0^m00$, $y = 0.96$ Luftruhe 3. Zuerst helle Dämmerung. Zwischen 3ʰ3ᵐ und 3ʰ40ᵐ Wolken, Lampe niedriger geschraubt, was offenbar ohne merklichen Einfluß auf die Helligkeit der künstlichen Sterne geblieben ist. Gegen Schluß Ruhe der Luft 3–4, und ununterbrochen klar
	34.2	39	II	47.2	29.25	9.4180			5.43	55	
	39.2	44	IV	47.4	18.58	9.0473			6.32	103	
	50.2		159	49.8	20.00	9.1157			6.50		
	57.2		140	55.2	35.62	9.5981			5.56		
	3 3.2		159	50.7	20.15	9.1247			6.50		
	40.2		140	59.2	31.35	9.5197			5.56		
	49.2		75	56.3	31.00	9.4962			5.67		
	57.2	7 2	I	53.7	28.28	9.4125			5.44	27	
	4 0.2	5	II	54.0	30.15	9.4644			5.32	62	
	6.2	10	III	54.7	36.62	9.6166			4.96	347	
	13.2	17	IV	55.5	17.80	9.0395			6.34	105	
	19.2	23	I	56.2	30.20	9.4752			5.30	30	
	26.2		159	59.3	19.35	9.1284			6.50		
	34.2		131	62.3	30.52	9.5184			5.48		
	43.2		159	61.4	20.25	9.1792			6.50		
	53.2	57	IV	60.4	16.80	9.0163			6.40	105	
	57.2	8 1	II	60.9	28.45	9.4535			5.35	65	
	5 1.2	5	I	61.4	29.72	9.4913			5.26	36	
	6.2	10	III	62.0	33.28	9.5835			5.04	349	
	13.2		159	65.4	18.78	9.1465			6.50		
Febr. 9	2 43.2		159	49.3	18.92	9.0679	+0.41	10.4	6.50		Ausgleichung: $x = +0^m05$, $y = 1.16$ Luft im Anfang etwas verschleiert, jedoch war der Schleier ziemlich gleichmäßig. Zum Schluß ganz klar. Luftruhe 2–3, später unruhiger. 140 ist dem Monde sehr nahe und steht in hellem Gesichtsfeld. Jupiterscheibe: Äquatorgegend, Westrand 11°85, Mitte 20°15
	49.2	5 46	II	47.8	20.80	9.1425			5.74	258	
	55.2	52	I	48.1	26.20	9.3325			5.18	63	
	3 0.2	57	III	48.5	31.53	9.4806			4.76	85	
	6.2	6 3	IV	48.9	15.85	8.9176			6.39	147	
	15.2		159	51.8	17.78	9.0238			6.50		
	24.2		140	57.6	25.58	9.3493			5.56		
	36.2		75	54.8	22.48	9.2307			5.67		
	45.2		140	59.7	25.88	9.3701			5.56		
	52.2		131	57.3	27.00	9.3914			5.48		
	59.2		159	56.2	17.80	9.0426			6.50		
	4 5.2	7 2	II	54.4	20.38	9.1480			5.72	263	
	11.2	8	I	55.1	26.58	9.3686			5.08	74	
	17.2	14	III	55.8	30.30	9.4760			4.77	88	
	23.2	20	IV	56.5	14.98	8.8983			6.44	148	
	46.2		159	61.8	16.68	9.0193			6.50		
	54.2		75	65.0	21.98	9.2740			5.67		
	5 3.2	7 59	II	61.4	20.75	9.1995			5.57	268	
	12.2	8 8	I	62.6	25.00	9.3609			5.10	83	
	16.2	12	III	63.1	27.85	9.4514			4.84	90	
	20.2	16	IV	63.6	14.48	8.9123			6.40	149	
	27.2		159	67.2	16.10	9.0339			6.50		
Febr. 11	5 14.6	8 3	IV	—	12.6	8.6775	—	10.3	(6.24)	191	II aus IV und I berechnet, $y = 1.00$ Messungen eilig, da durch Wolkenlücken angestellt, meist nur in zwei Quadranten gemessen. Aufklärungen und Schneeschauern wechseln ab
	14.6	3	II	—	22.8	9.1766			4.99	111	
	16.6	5	IV	—	15.4	8.8483			(6.24)	191	
	16.6	5	II	—	24.3	9.2288			5.29	111	
	18.6	7	I	—	23.6	9.2049			(5.52)	129	
	18.6	7	II	—	28.7	9.3629			5.12	111	

Digitized by Google

1905	Sternzeit	M. Z. Berlin	Objekt	z	ζ	log sin² ζ + Extinkt.	Reduktion auf mittlere Opposition	α	Größe	Anomalie	Bemerkungen
Febr. 11	6ʰ11ᵐ.6	9ʰ 0ᵐ	IV	—	9°.65	8.4487	—	10°.3	6ᵐ.24	192°	Mittels der Kurven reduziert, II allein berechnet, $y = 1.00$, Messungen symmetrisch angeordnet
	11.6	0	II	—	18.60	9.0075			5.31	114	
	11.6	0	I	—	16.80	8.9219			5.52	137	
	11.6	0	III	—	19.45	9.0448			5.23	191	Nach 6ʰ.2 Dunstwolken
Febr. 12	3 1.8	5 47	II	48°.2	26.0	9.3266	—	10.2	I–II =	202	$y = 1.00$
	4.8	50	I	48.4	29.2	9.4200			0.23	313	Ganz verschleiert
Febr. 13	2 38.8		140	53.9	32.62	9.5254	—	10.1	5.56		Reduktion: $\frac{140+159}{2}$, $y = 1.00$
	47.8		159	49.7	19.70	9.1028			6.50		
	59.8	5 41	II	48.0	22.12	9.1939			5.90	303	Luft anfangs unrein, bald klar, von etwa 3ʰ.5 ab jedoch starker Schleier. Zuerst helle Dämmerung. Luftruhe 3
	3 2.8	44	I	48.3	26.70	9.3480			5.52	155	
	9.8	51	III	48.8	33.25	9.5226			5.08	285	
	16.8	58	IV	49.3	18.25	9.0376			6.29	230	
	30:		140	58.2	26.48	9.3802			5.56		
	36.8		159	53.8	13.08	8.7711			6.50		
	50.8	6 32	II	—	9.35	8.4215			(5.90)	307	I aus II berechnet; Messungen ausgeschlossen, da durch wechselnde Wolkenschleier verdorben
	50.8	32	I	—	8.65	8.3545			6.07	162	
	56.8	38	I	—	7.70	8.2541			5.91	163	
	56.8	38	II	—	7.75	8.2597			(5.90)	307	
	4 1.8	43	II	—	13.75	8.7520			(5.90)	307	
	1.8	43	I	—	12.95	8.7009			6.03	164	
	6.8	48	I	—	14.40	8.7913			5.79	165	
	9.8	51	II	—	13.68	8.7477			(5.90)	308	
	12.8	53	I	—	13.80	8.7551			5.88	165	
	16.8	57	I	—	11.75	8.6177			6.07	166	
	16.8	57	II	—	12.70	8.6842			(5.90)	309	
Febr. 18	3 18.9	5 40	III	—	27.95	9.3418	—	9.7	—	176	Durch Wolken
	24.9	46	I	—	28.82	9.3662			—	93	
	31.9	53	II	—	25.15	9.2568			—	90	
Febr. 20	4 23.9	6 37	IV	55.0	18.42	9.0660	+0ᵐ.47	9.5	6.08	22	Ausgleichung: $x = +0^m.01$, $y = 0.76$; mit Ausschluß der zweiten Messung von PD_1 207
	28.9	42	I	55.6	29.25	9.4472			5.36	147	
	33.9	47	II	56.2	23.95	9.2889			5.66	295	
	38.9	52	III	56.8	34.25	9.5755			5.11	278	Luftruhe 3–4, zuweilen 3–2; unsicher, schwacher Schleier, bald ganz klar, gegen den Horizont hin etwas dunstig oder nebelig; heller Mondschein
	43.9	57	IV	57.4	18.02	9.0587			6.09	22	
	56.9		131	65.4	32.62	9.5943			5.48		
	5 6.9		159	64.5	18.62	9.1318			6.50		
	12.9		140	70.4	30.55	9.5972			5.56		
	19.9		176	61.5	29.55	9.4875			5.85		
	28.9		207	59.5	19.35	9.1296			6.40		
	38.9	7 52	IV	64.5	16.52	9.0311			6.15	23	
	43.9	57	I	65.3	27.78	9.4671			5.32	157	
	49.9	8 3	II	66.1	22.35	9.2975			5.64	301	
	54.9	8	III	66.8	33.12	9.6190			5.03	280	
	6 4.9		159	72.6	15.48	9.0695			6.50		
	13.9	27	IV	69.4	15.72	9.0381			6.15	23	
	18.9	32	I	70.2	24.05	9.4027			5.44	162	
	23.9	37	II	70.9	19.48	9.2378			5.76	303	
	28.9	42	III	71.6	30.30	9.6074			5.05	282	
	37.9	51	I	72.8	21.22	9.3373			5.57	165	
	48.9		176	74.0	24.05	9.4608			6.04		
	56.9		207	72.0	(14.22)	(8.9881)			6.40		

Digitized by Google

1905	Sternzeit	M. Z. Berlin	Objekt	z	ζ	log sin² ζ + Extinkt.	Reduktion auf mittlere Opposition	α	Größe	Anomalie	Bemerkungen
Febr. 21	$3^h 38^m.9$	$5^h 48^m$	I	50°3	24°90	9.2977	$+0^m.48$	9°4	$5^m.64$	342°	Mittels der Kurven reduziert, $y = 1.00$
	40.9	50	II	50.5	27.25	9.3713			5.58	33	Stets durch Wolken unterbrochen, Messungen in nur zwei Quadranten. Luftruhe 3–4
	42.9	52	III	50.7	35.40	9.5762			5.11	326	
	45.9	55	IV	51.0	18.35	9.0475			6.33	43	
	49.9	59	II	51.3	27.45	9.3798			5.57	33	
	53.9	6 3	I	51.7	25.85	9.3328			5.68	345	
	57.9	7	III	52.1	36.60	9.6061			5.05	326	
	4 1.9	11	IV	52.5	17.65	9.0202			6.41	43	
	13.9		131	60.0	35.8	9.6262			5.48		Ausgleichung: $x = +0^m.03$, $y = 0.93$
	29.9		159	59.8	18.50	9.0938			6.50		Zunächst ganz bewölkt, von $5^h.6$ ab ganz klar
	46.9		131	64.1	32.12	9.5715			5.48		
	5 36.9	7 46	IV	64.1	17.25	9.0644			6.24	44	
	41.9	51	II	64.9	26.30	9.4196			5.35	41	
	46.9	56	III	65.5	33.05	9.6053			4.89	330	
	56.9		176	66.6	25.80	9.4195			5.85		
	6 1.9		177	67.3	14.02	8.9176			7.03		
	9.9		207	65.3	20.15	9.2045			6.40		
Febr. 26	4 20.0	6 10	IV	53.7	16.68	8.9771	+0.50	8.9	6.12	151	Ausgleichung: $x = +0^m.03$, $y = 0.94$
	25.0	15	I	54.3	24.25	9.2908			5.37	283	Luftruhe 3–4 und 4. Luft zunächst klar,
	30.0	19	III	54.9	33.68	9.5542			4.75	217	bald etwas dunstig; tief am westlichen
	39.0		131	63.0	28.08	9.4573			5.48		Horizont eine Wolkenbank; Venus
	45.0		159	61.7	16.35	9.0018			6.50		hat um $5^h.6$ einen schwachen Hof. II
	57.0		176	58.3	24.62	9.3218			5.85		erschien vor dem Durchgang sehr hell,
	5 1.0		177	58.9	13.55	8.8251			7.03		nach demselben ganz matt u. blaugrau
	10.0		207	57.0	17.78	9.0454			6.40		
	18.0	7 7	IV	60.8	15.05	8.9257			6.24	152	
	24.0	13	I	61.6	22.68	9.2743			5.41	291	
	29.0	18	III	62.3	32.30	9.5626			4.74	219	
	42.0		176	64.6	23.12	9.3122			5.85		
	47.0		177	65.2	12.48	8.7986			7.03		
	55.0		207	63.3	17.55	9.0727			6.40		
	6 7.0	56	IV	67.6	13.55	8.8916			6.31	152	
	14.0	8 3	I	68.6	20.58	9.2549			5.46	298	
	20.0	9	III	69.4	27.12	9.4901			4.90	221	
	27.0	16	II	70.4	12.62	8.8638			5.83	188	Extinktion plötzlich bedeutend stärker,
	38.0	27	II	71.9	12.48	8.8753			5.80	189	II aus IV berechnet, dessen Größe
	44.0	33	IV	72.8	10.00	8.6993			(6.22)	153	nach den vorhergehenden Messungen angenommen ist; im Beobachtungsbuch steht: »im Dunst?«
Febr. 27	3 57.0	5 43	I	51.2	21.55	9.1822	+0.51	8.8	5.72	121	Reduktion: $\frac{176+177}{2}$, $y = 0.85$
	59.0	45	III	51.4	26.60	9.3549			5.36	266	Luftruhe 4–5. Die Messungen bis
	4 1.0	47	II	51.6	16.60	8.9653			6.18	279	$4^h 26^m$ nur an zwei Quadranten ge-
	7.0	53	I	52.2	21.80	9.1952			5.70	123	macht. Helle Dämmerung, Wolken;
	9.0	55	II	52.4	17.00	8.9883			6.14	280	von $4^h.9 - 6^h$ ganz bewölkt
	11.0	57	III	52.6	28.00	9.4003			5.25	267	
	18.0	6 4	IV	53.4	14.45	8.8544			6.42	172	
	23.0		176	54.2	26.40	9.3593			5.85		
	26.0		177	54.5	13.65	8.8104			7.03		
	35.0	21	I	55.4	23.82	9.2809			5.51	127	
	40.0	26	IV	56.0	14.52	8.8695			6.39	173	
	45.0	31	II	56.6	17.28	9.0195			6.07	282	
	54.0	40	III	57.7	29.72	9.4698			5.11	268	

Digitized by Google

1905	Sternzeit	M. Z. Berlin	Objekt	z	ζ	log $\sin^2 \zeta$ + Extinkt.	Reduktion auf mittlere Opposition	α	Größe	Anomalie	Bemerkungen
Febr. 27	$6^h\ 0^m.0$	$7^h\ 45^m$	176	67°.0	20°.05	9.2162	$+0^m.51$	8°.8	$5^m.85$		Reduktion: $\frac{176+177}{2}$, $y = 0.85$
	4.0	49	177	67.6	10.00	8.6314			7.03		Extinktion bedeutend stärker als rechnungsmäßig. Lampe brennend erhalten, Luftruhe 4–5, Messungen sehr schwierig. $6^h 44^m$ scheint es in der Gegend von ♃ und ♀ noch leidlich klar zu sein, jedoch anscheinend ein wenig dunstig dort
	12.0	57	I	68.1	19.10	9.1872			5.39	140°	
	17.0	8 2	IV	68.8	10.65	8.6987			6.43	174	
	22.0	7	II	69.5	16.18	9.0637			5.65	289	
	27.0	12	III	70.3	23.82	9.3962			4.94	271	
	35.0		176	72.1	16.28	9.1043			5.85		Offenbar im Dunst; ausgeschlossen
	40.0		177	72.8	8.58	8.5675			7.03		
März 1	6 15.0	7 52	IV	68.2	17.0	9.0905	+0.52	8.6	6.46	214	$y = 1.00$
	15.0		202	68.0	15.0	8.9824			7.21		Dichter Schleier, daher ziemlich unsicher
	18.0	55	III	68.6	31.2	9.5917			5.21	12	
	18.0	55	II	68.6	27.7	9.4976			5.45	131	
	20.0		202	68.7	15.5	9.0180			7.21		
März 10	5 33.1	6 35	IV	60.9	20.80	9.1983	—	7.6	6.30	47	Kurven, $y = 1.00$
	35.1	37	III	61.2	43.88	9.7812			4.84	100	Stürmisch, schnell ziehende Wolkenmassen, Luftruhe 3–4. In zwei Quadranten, die letzte Messung in beiden Gruppen nur in einem Quadranten gemacht
	37.1	39	I	61.5	30.60	9.5150			5.51	206	
	39.1	41	II	61.7	25.35	9.3660			5.88	316	
	51.1	53	IV	63.3	18.05	9.0963			6.06	47	
	53.1	55	III	63.6	32.75	9.5827			4.85	101	
	55.1	57	I	63.9	22.35	9.2788			5.61	208	
	57.1	59	II	64.2	19.70	9.1765			5.86	317	
	59.1	7 1	IV	64.5	16.45	9.0275			6.24	47	
März 16	6 1.9	6 40	I	64.0	24.32	9.3488	—	6.8	5.67	346	Kurven, $y = 1.00$
	6.9	45	II	64.7	25.10	9.3802			5.59	203	Luft im Westen bis auf einige Wolkenstreifen sehr klar. Helle Dämmerung, Luftruhe 3–4
	10.9	49	III	65.2	33.82	9.6204			4.99	41	
	15.9	54	IV	65.9	15.92	9.0119			6.51	176	
	19.9	58	I	66.5	23.10	9.3284			5.72	348	
	26.9		176	71.0	23.22	9.3847	+0.58	6.8	5.85		Reduktion: $\frac{176+177}{2}$, $y = 1.00$
	30.9		177	71.5	13.32	8.9251			7.03		Extinktion beträchtlich stärker als rechnungsmäßig. Nach $6^h 9$ wurde die Luft plötzlich so unruhig wie über einem Feuer, der Himmel hat sich allmählich verschleiert, bei Jupiter ist es aber noch ganz klar
	43.9	7 22	III	69.7	29.35	9.5566			4.83	42	
	46.9	25	IV	70.3	13.12	8.8957			6.48	177	
	50.9	29	II	70.7	19.30	9.2274			5.65	206	
März 17	7 47.9	8 22	III	78.9	24.15	9.579	—	6.7	5.05	94	Kurven, $y = 1.00$
	49.9	24	I	79.1	17.90	9.354			5.62	203	Es ist plötzlich heiter geworden, im Westen klar, etwas nebelig. Luftruhe 3–4
	51.9	26	IV	79.4	11.70	9.023			6.44	196	
	53.9	28	II	79.8	15.35	9.295			5.77	312	
	55.9	30	III	80.1	20.50	9.583			5.04	95	
	8 0.9	35	III	80.8	17.30	9.580			5.09	95	
	2.9	37	I	81.1	14.10	9.470			5.38	205	
	4.9	39	II	81.4	9.25	9.178			6.10	312	
	6.9	41	IV	81.7	7.85	9.110			6.28	196	
	8.9	43	III	82.0	12.35	9.579			5.09	95	

Digitized by Google

1905	Sternzeit	M. Z. Berlin	Objekt	z	y	log sin² y + Extinkt.	Reduktion auf mittlere Opposition	α	Größe	Anomalie	Bemerkungen
März 21	7h 15m.8	7h 34m	II	73°.3	15°.40	9.0765	—	6°.2	5m.74	352°	Kurven, $y = 1.00$
	17.8	36	I	73.6	18.80	9.2498			5.31	289	Luft klar im Westen bei Jupiter, aber sehr
	19.8	38	II	73.9	14.10	9.0121			5.90	352	verdächtig, da überall sonst Streifen u.
	21.8	40	III	74.3	20.70	9.3427			5.07	293	Wolken. Luftruhe 3. In zwei Quadran-
	23.8	42	IV	74.6	13.00	8.9559			6.04	282	ten gemessen. III sehr gelb, I fast
	27.8	46	I	75.2	17.40	9.2152			5.39	291	ebenso, ein klein wenig weißer, II
	30.8	49	III	75.6	20.85	9.3747			4.99	293	weißgelb, IV graugelb und ver-
	32.8	51	IV	76.0	11.35	8.8688			6.26	282	schwommen
März 22	6 41.8	6 57	II	68.4	25.15	9.4176	—	6.1	5.55	91	Kurven, $y = 1.00$
	45.8	7 1	I	68.9	26.75	9.4730			5.43	128	Sehr klar, Luftruhe 2–3, helle Dämme-
	50.8	6	III	69.6	33.15	9.6505			4.98	342	rung
	54.8	10	IV	70.2	18.20	9.1716			6.17	302	
	7 0.8	16	II	71.1	22.15	9.3473			5.65	92	Luftruhe 3–4. IV erschien mir merk-
	3.8	19	I	71.5	24.30	9.4290			5.45	130	würdig schwach, was in Wirklichkeit
	5.8	21	III	71.8	30.25	9.6090			5.00	342	gar nicht der Fall war, wie die Berech-
	8.8	24	IV	72.2	19.25	9.2468			5.91	303	nung der Messungen ergab. In zwei
	10.8	26	IV	72.5	17.65	9.1787			6.07	303	Quadranten gemessen
März 23	6 40.0	6 51	II	67.9	21.05	9.2659	—	6.0	5.74	189	Kurven, $y = 1.00$
	44.0	55	I	68.5	24.92	9.4112			5.57	330	Luftruhe 3–4, helle Dämmerung, ganz
	49.0	7 0	III	69.2	31.48	9.6057			4.96	32	klar bis zum Horizont
	54.0	5	IV	69.9	17.10	9.1153			6.20	324	
	7 0.0	11	IV	70.8	17.32	9.1380			6.23	324	Die drei letzten Messungen in zwei
	4.0	15	III	71.4	32.40	9.6567			4.93	33	Quadranten, zuletzt schwierig. Luft-
	7.0	18	I	71.8	24.20	9.4299			5.50	333	ruhe 4
	10.0	21	II	72.3	21.25	9.3306			5.75	191	
März 24	6 48.0	6 55	III	68.9	35.15	9.6868	—	5.8	4.72	82	Kurven, $y = 1.00$
	50.0	57	II	69.2	21.10	9.2826			5.73	293	Streifen in der Nähe von Jupiter, helle
	52.0	59	IV	69.5	16.65	9.0879			6.22	345	Dämmerung. Luftruhe 2–3
	54.0	7 1	III	69.8	31.70	9.6184			4.69	82	Extinktion plötzlich stärker; Himmel
	55.0	2	III	69.9	31.70	9.6196			4.69	82	streifig im Westen
	57.0	4	IV	70.2	14.80	8.9970			6.25	345	
	59.0	6	II	70.4	18.95	9.2081			5.72	294	
	7 1.0	8	III	70.7	30.50	9.5999			4.74	82	
	3.0	10	IV	71.0	14.40	8.9844			6.21	345	
	5.0	12	II	71.3	17.20	9.1390			5.76	294	
	7.0	14	III	71.7	31.55	9.6405			4.64	83	

Tafel II.

2. Schätzungen am 11″ Refraktor in Bothkamp.

1905	Sternzeit	M. Z. Berlin	Schätzungen	Anomalien I	II	III	IV
Jan. 13	1h 34m.2	6h 17m	II = III 2 I, II 4 IV	337°	47°	170°	287°
	36.2	19	III 1 II 5 IV, III 3 I				
	7 14.2	11 57	I 3 IV II +> I (etwa 2/3 Größenklasse)	25	71	—	292
» 17	3 53.6	8 21	III 4 I, II 2 I	88	101	16	—
			III 3 II 3 I, III 2 II				
» 20	0 3.2	4 19	III > I > II				
	6.2	22	III 4 I 3 II	305	28	159	—
	16.2	32	III 3 I 2 II				
» 21	7.3	11.5	III +> I				

Digitized by Google

1905	Sternzeit	M. Z. Berlin	Schätzungen	Anomalien I	II	III	IV
Febr. 7	$3^{h}15^{m}.2$	$6^{h}20^{m}$	III 1.5–2 II 3: I				
	19.2	24	III 0–1 II 4–5 I				
	22.2	27	III 1.5 II 4 I	22°	58°	345°	—
	24.2	29	III 2 II 4 I				
	27.2	32	III 1 II 3–4 I				
» 11	3 25.6	6 14	I 0–1 II, III vielleicht > II und I	114	103	186	—
	33.6	22	II = III vielleicht sogar II etwas > III, II 3 I				
	4 40.6	7 29	II 4 I, II = III, I mindestens 5 IV	125	109	188	190°
	52.6	41	II 3–4 I, II 1 III, I 6 IV				
» 12	2.7	5.5	III 3 II 1–2 I + > IV *)	310	201	234	209
» 17	3 36.8	6 2	III 3 I 4 II 3 IV				
	39.8	5	III 5 I 3 II 3 IV				
	42.8	8	III 4 I 4 II 3 IV	252	349	127	317
	46.8	12	III 5 I 3 II 2 IV				
» 18	2 59.9	5 21	III 1 I 2 II				
	3 5.9	27	III 1.5 I 1.5 II	90	88	176	338
	7.9	29	III 2 I 2 II 5 IV				
	16.9	38	III 1.5 I 1 II 5 IV	92	88	176	338
	29.9	51	III 2 I = II 5 IV				
	36.9	58	III 2.5 I	94	90	177	338
	39.4	6 0	III 2 I, II 1 I!				
	46.9	8	III 1.5 I = II				
	47.9	9	III 1.5 I, II 1 I, I u. II mehr als $0^{m}.5$ > IV	97	91	177	338
	58.9	20	II 1–1.5 I!, II = III				
	4 11.9	33	II entschieden > I	100	92	—	—
» 19	3.6	5.9	III > I > II > IV	297	191	226	359
	3 40	5 57	III 3–4 I = II oder II 1 I, IV schwach				
	5 6	7 23	III 5 I 2–2.5 II + > IV				
	9	26	III 5–6 I 3 II 5 IV				
	11	28	III 5 I 2 II 4 IV	310	197	229	1
	13	30	III 4 I 1.5–2 II 4 IV				
	15	32	III 5 I 1.5 II 4 IV				
	57	8 14	III 5 I 0.5–1 II 6 IV				
	6 0	17	I 2 II 4.5 IV	318	201	231	2
	3	20	III 6 I 1.5 II 5 IV, I 2 II				
	16	33	I 1 II 6 IV, III unverändert				
» 20	4 9.9	6 23	III 5 I 2.5 II 4 IV	145	294	277	22
	15.9	29	III 4 I 2.5 II 3.5 IV				
» 21	3 25.9	5 35	III > I ≥ II > IV	340	32	325	43
	26.9	36	II > I				
» 27	3.8	5.6	III > I > II > IV	120	278	266	171
März 1	2 9.0	3 47	III > II > I, III mindestens $0^{m}.3$ > I u. II (stark verschleierter Himmel)	151	113	3	—
	3 36.0	5 14	III 3–4 I	164	—	6	—
	4 26.0	6 4	II außerordentlich hell				
	32.0	10	II + > IV	—	124	—	212
	5 39.67	7 17.19	III = IV	III Austritt			
	45.35	22.87	III = II, vielleicht noch nicht ganz				
	50.0	27	III 1 II				
	54.0	31	III 2 II	—	130	11	—
	55.0	32	III 2 II				
	6 0.0	37	III 1 II				
	6.0	43	III nur etwas > II; IV sehr viel schwächer, aber heller als PD_1 202	—	130	11	214

*) Die Messungen von I und II geben umgekehrt I um $0^{m}.23$ heller als II, vielleicht ist ein Versehen oder Schreibfehler vorgefallen, die Schätzung ist bei der Reduktion durch die Messung ersetzt.

Digitized by Google

1905	Sternzeit	M. Z. Berlin	Schätzungen	Anomalien I	II	III	IV
März 1	$6^h 44^m.0$	$8^h 21^m$	III und II unverändert. I muß ziemlich hell sein, jedoch jedenfalls merklich < II	190°	133°	13°	—
	47.0	24	III 3 II!				
» 10	5 15.1	6 17	III 5 I 4 II 3 IV				
	18.1	20	III +> I 4 II 2–3 IV				
	20.1	22	III 6 I 4 II 3 IV. Unterschied zwischen III und I mindestens $0^m.6$	203	315	100	47°
	27.1	29	I 3–4 II 3 IV				
» 16	5 17.9	5 56	I etwas > II, III bedeutend > I				
	22.9	6 1	III 4 I 2 II				
	27.9	6	III 5 I 3 II	341	200	40	175
	31.9	10	III 5 I 2 II				
	38.9	17	I nur wenig > II, I +> IV, III + > I				
» 17	7 32–37	8 6–11	II = I 3 IV, III 7–8 II und I				
			II = I! I 4 IV, III ++> II und I				
			II = I vielleicht I 1 II, II 4 IV, III 6–8 II	201	311	94	196
			I 1 II 3 IV, III 7 II				
	37.9	12	I 1 II 4 IV, III 7 II				
» 18	7 24.8	7 55	III 5 II ≥ I 5 IV	43	51	144	217
	31.8	8 2	III 5 II 2 I 3 IV				
» 21	6 45.8	7 4	III 5 I 4 II 3 IV				
	48.8	7	III 5 I 5 II 2 IV	286	350	292	281
	54.8	13	III 5 I 5 II 3 IV				
	59.8	18	I 5 IV				
	7 40.8	59	I 3 IV höchstens!	293	—	—	282
» 22	6 30.8	6 46	III 5 I 0–1 II 5 IV	126	90	341	302
	7 19.8	7 35	III 3 I = II 6 IV	134	94	343	303
	23.8	39	II 1 I 5 IV, III 3 I				
» 23	6 13.0	6 24	I > II!, III +> I				
	33.0	44	I 2 II 5 IV, III +> I	329	189	31	324
» 24	6.2	6.3	I nahe Jupiter, hell! II und III nicht gefunden	169	—	—	—
	6.5	6.6	III ist bedeutend heller als I vorhin war	—	—	81	—
	6 33.0	6 40	II gesehen, I war höchstens so hell als II jetzt ist, vielleicht etwas schwächer	—	292	—	—

3. Schätzungen am 3" Fraunhofer in Bothkamp.

1905	Sternzeit	M. Z. Berlin	Schätzungen	I	II	III	IV
April 1	7 52.1	7 14	III 6 (mindestens) II 3–4 IV, III sehr hell!	—	24°	124°	156°
	56.1	18	III 5 II 4 IV	—	24	124	156
» 7	8 33	7 32	III 5 I 6 II (I u. II schwer zu vergleichen wegen der großen Helligkeitsdifferenz (II schwach))	144°	271	65	—
	35	34	III 6 I 6–7 II	145	271	65	—
	37	36	III 6 I 6 II	145	272	65	—

Tafel III.

4. Schätzungen am 2½" Fernrohr in Bonn.

1904-05	M. Z. Berlin	Schätzungen
Dez. 22	$6^h 9^m$	III 5 II 3 IV; IV 3 HP 215, III > PD_1 160
	19	III 4 II 2.5 IV; III 3 PD_1 160, IV 2 HP 215
	8 —	III 5 II 1 I 2 IV; IV 2 HP 215, III 4.5 PD_1 160
» 23	8 54	III 1 II 3 I 4 IV; IV 4 HP 215, PD_1 162 4 II, IV 2–3 PD_1 160
» 27	5 49	III 3 II, I 1 II, I 3 IV; IV +> HP 215, IV 4 PD_1 160, PD_1 162 4 III
	6 14	III 3 II 2 IV, I 2.5 II; PD_1 134 4 IV 5 HP 215, IV 3 PD_1 160, I = PD_1 159, PD_1 162 5 III
	7 14	III 3 I 1.5 II, III 4 II, I 2 IV; PD_1 134 3 IV 4 BD +7°209
	8 29	I 3 IV, III 4 II, I 2 II; PD_1 162 4 III, PD_1 134 5 IV
Jan. 1	4 49	III 5 II 4.5 IV, III 2 I, III +> II
	5 0	III 1 I 5 II 4 IV
	4	III 2 I 3 II 4–5 IV

Digitized by Google

1905	M. Z. Berlin	Schätzungen
Jan. 1	$5^h 24^m$	III 2 I 3 II 3.5 IV, I 6 IV, III 6 II; IV +> HP 215, IV < PD_1 134, PD_1 162 2 III, PD_1 134 2 IV
	54	III 2.5 I 3 II 3 IV; IV +> HP 215, PD_1 162 3 III, PD_1 134 3 IV
» 2	5 14	III 3.5 I 4 IV; IV 6 oder +> HP 215, PD_1 134 = IV, PD_1 162 $2\frac{2}{3}$ III
	54	III $3\frac{3}{4}$ I $2\frac{1}{4}$ IV; PD_1 134 3 IV, PD_1 162 4 III, IV 2.5 PD_1 160
	6 34	III $3\frac{1}{3}$ I 2 IV; IV 6 HP 215, PD_1 134 3 IV, PD_1 162 5 III, PD_1 134 = I (?)
	7 14	III 4 I (?) 2: II = IV
	24	III 2 I, III 3 II, IV 2 II
	31	III = IV 2 II, III 3 I
	39	III 3 I 2 IV = II
	8 24	III 3 I 2 II, IV 1 II; PD_1 134 3 IV
	9 59	III 3 I 2 IV 2 II; PD_1 134 3 IV, PD_1 162 4 III

Tafel IV.

Resultate aus den Schätzungen in Bothkamp.

Schätzungen am 11" Refraktor.

1905	Trabant I Anom.	Trabant I Gr.	Trabant II Anom.	Trabant II Gr.	Trabant III Anom.	Trabant III Gr.	Trabant IV Anom.	Trabant IV Gr.
Jan. 13	337°	$5^m.68$	47°	$5^m.47$	170°	$5^m.41$	287°	$5^m.97$
13	25	5.8	—	—	—	—	—	—
17	88	5.54	101	5.26	16	5.02	—	—
20	305	5.43	28	5.71	159	5.05	—	—
Febr. 7	22	5.8	58	5.35	345	5.20	—	—
11	114	5.39	103	5.26	186	5.26	—	—
11	125	5.62	109	5.20	188	5.26	190	6.28
12	310	5.36	201	5.59	234	5.26	—	—
17	252	5.43	349	5.80	127	5.34	317	6.11
18	90	5.47	88	5.66	176	5.31	338	6.21
18	92	5.53	88	5.63	176	5.36	338	6.18
18	94	5.62	90	5.57	177	5.38	338	6.12
18	97	5.60	91	5.51	177	5.45	—	—
19	297	5.54:	191	5.48:	226	5.16:	—	—
19	310	5.46	197	5.69	229	4.92	—	—

1905	Trabant I Anom.	Trabant I Gr.	Trabant II Anom.	Trabant II Gr.	Trabant III Anom.	Trabant III Gr.	Trabant IV Anom.	Trabant IV Gr.
Febr. 19	318°	$5^m.58$	201°	$5^m.72$	231°	$4^m.97$	—	—
20	145	5.48	294	5.76	277	4.99	22°	$6^m.17$
März 10	203	5.52	315	5.94	100	4.84	47	6.26
16	341	5.50:	200	5.75:	40	4.98:	—	—
17	201	5.78	311	5.83	94	5.06	196	6.23
18	43	5.75	51	5.58	144	5.03	217	6.19
21	286	5.42	350	5.87	292	4.88	281	6.18
21	293	5.8	—	—	—	—	—	—
22	126	5.51	90	5.57	341	4.96	302	6.12
22	134	5.49	94	5.45	343	4.95	303	6.10
23	329	5.52	189	5.74	—	—	324	6.29
24	169	5.8	—	—	—	—	—	—
Schätzungen am 3" Fraunhofer.								
April 1	—	—	24	5.76	124	5.19	156	6.14
7	145	5.43	271	5.77	65	5.12	—	—

Tafel V.

Zusammenstellung aller aus den Bothkamper Beobachtungen abgeleiteten Helligkeiten der Trabanten.

Trabant I.

Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.
Febr. 7	22°	$5^m.8$	Febr. 2	86°	$5^m.42$	Febr. 27	127°	$5^m.51$	Jan. 21	191°	$5^m.91$
Jan. 15	24	5.73	Jan. 17	88	5.54	März 22	128	5.43	» 21	192	5.68
» 13	25	5.8	Febr. 18	90	5.47	Febr. 11	129	5.64	» 7	194	5.94
» 22	27	5.70	» 18	92	5.53	März 22	130	5.45	» 21	196	5.74
Febr. 7	27	5.44	» 18	94	5.62	» 22	134	5.49	März 17	201	5.78
» 7	30	5.30	» 18	97	5.60	Jan. 19	137	5.42	Jan. 23	203	5.51
Jan. 22	33	5.51	Jan. 26	98	5.66	Febr. 11	137	5.52	März 10	203	5.52
» 31	35	5.47	» 19	112	5.23	» 27	140	5.39	» 17	203	5.62
Febr. 7	36	5.26	Febr. 11	114	5.39	» 20	145	5.48	» 17	205	5.38
Jan. 15	41	5.65	Dez. 18	118	5.58	Jan. 19	146	5.44	» 10	206	5.51
März 18	43	5.75	Febr. 27	122	5.72	Febr. 20	147	5.36	Jan. 21	207	5.83:
Febr. 9	64	5.18	Dez. 18	123	5.51	» 13	155	5.52	» 14	208	5.47
Jan. 17	66	5.34	Jan. 19	123	5.40	» 20	157	5.32	März 10	208	5.61
» 17	71	5.50	Febr. 27	123	5.70	» 20	162	5.44	Jan. 14	215	5.44
Febr. 9	74	5.08	» 11	125	5.62	» 20	165	5.57	» 23	216	5.51
» 2	78	5.27	Jan. 26	126	5.47	Jan. 21	167	5.32	» 7	221	5.66
» 9	83	5.10	März 22	126	5.51	März 24	169	5.8	» 16	222	5.36

Digitized by Google

Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.
Jan. 23	229°	5^m46	Febr. 26	291°	5^m41	Febr. 12	310°	5^m36	Jan. 20	338°	5^m78
» 23	235	5.51	März 21	291	5.39	» 12	312	5.45	» 20	341	5.73
» 23	243	5.43	» 21	293	5.8	Jan. 20	313	5.51	März 16	341	5.50:
» 16	249	5.61	Dez. 19	294	5.63	» 20	318	5.50	Febr. 21	342	5.64:
Febr. 17	252	5.43	Febr. 19	297	5.54:	Febr. 19	318	5.58	» 21	345	5.68
Jan. 18	270	5.85	» 26	298	5.46	Jan. 20	323	5.73	März 16	346	5.67
Febr. 26	283	5.37	» 3	299	5.27	März 23	329	5.52	Jan. 20	347	5.9
März 21	286	5.42	Jan. 20	305	5.43	» 23	330	5.57	März 16	348	5.72
» 21	289	5.31	» 20	310	5.52	» 23	333	5.50			
Febr. 3	290	5.45	Febr. 19	310	5.46	Jan. 13	337	5.68			

Trabant II.

Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.
Febr. 3	19°	5^m50	Febr. 18	91°	5^m51	März 16	200°	5^m75:	Febr. 20	295°	5^m66
» 3	20	5.51	März 22	92	5.65	Febr. 19	201	5.72	Jan. 26	297	5.95
April 1	24	5.76	Jan. 17	92	5.47	» 12	201	5.59	» 19	298	5.72
Jan. 20	28	5.71	März 22	94	5.45	März 16	203	5.59	Febr. 20	301	5.64
» 20	31	5.68	Jan. 17	101	5.26	» 16	206	5.65	» 13	303	5.90
» 20	32	5.83	Febr. 11	103	5.26	Jan. 22	237	5.75	» 20	303	5.76
Febr. 21	33	5.58:	» 11	109	5.20	» 22	238	5.69	Jan. 19	304	6.01
Jan. 20	34	5.71	» 11	111	5.13	» 22	249	5.70	Dez. 18	308	5.82
Dez. 19	36	5.59	» 11	114	5.31	» 15	250	5.75	Jan. 19	309	5.78
Jan. 20	38	5.58	März 1	131	5.45	» 22	252	5.78	März 17	311	5.83
Febr. 21	41	5.35:	Jan. 21	140	5.54	Febr. 9	258	5.74	» 17	312	5.77
Jan. 20	46	5.50	» 21	144	5.53	Jan. 15	259	5.76	» 17	312	6.10
» 13	47	5.47	» 21	148	5.50	Febr. 9	263	5.72	Dez. 18	315	5.88
März 18	51	5.58	» 7	158	5.63	» 9	268	5.57	März 10	315	5.94
Febr. 7	55	5.43	» 14	162	5.66	» 2	270	5.66	» 10	316	5.88
» 7	58	5.35	» 14	166	5.67	April 7	271	5.77:	» 10	317	5.86
Jan. 13	60	5.45	» 7	172	5.97	Febr. 27	279	6.18	Jan. 23	337	5.95
Febr. 7	62	5.32	Febr. 26	188	5.83	» 27	280	6.14	» 23	342	5.85
Jan. 13	63	5.31	» 26	189	5.80	» 27	282	6.07	» 16	348	5.60
Febr. 7	65	5.35	März 23	189	5.74	Jan. 26	283	6.03	» 23	348	5.83
Jan. 31	68	5.47	» 23	189	5.74	Febr. 2	287	5.70	Febr. 17	349	5.80
Febr. 18	88	5.64	Jan. 18	190	5.69	» 27	289	5.65	März 21	350	5.87
Jan. 17	89	5.53	März 23	191	5.75	Jan. 19	292	5.77	Jan. 23	351	5.86
Febr. 18	90	5.57	Jan. 18	191	5.58	März 24	293	5.73	März 21	352	5.82
März 22	90	5.57	Febr. 19	191	5.48:	» 24	294	5.74			
» 22	91	5.55	» 19	197	5.69	Febr. 20	294	5.76			

Trabant III.

Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.
März 1	6°	5^m1	Febr. 2	93°	4^m95	März 18	144°	5^m03	Febr. 11	191°	5^m23
» 1	11	5.25	März 17	94	5.05	Febr. 3	145	5.02	Jan. 21	213	5.03
» 1	12	5.21	» 17	94	5.06	» 3	147	5.15	» 21	215	5.05
Jan. 17	16	5.02	Febr. 2	95	5.00	Jan. 20	159	5.05	» 21	217	4.92
März 23	32	4.96	März 17	95	5.07	» 20	161	5.09	Febr. 26	217	4.75
» 23	33	4.93	» 10	100	4.84	» 20	163	5.09	Jan. 21	218	4.89
» 16	40	4.98:	» 10	101	4.85	» 20	167	5.18	Febr. 26	219	4.74
» 16	41	4.99	Jan. 26	103	4.79	» 13	170	5.41	» 26	221	4.90
» 16	42	4.83	» 26	109	4.98	» 13	176	5.38	» 19	226	5.16:
Jan. 18	61	5.16	» 19	110	4.79	» 13	176	5.45	Jan. 7	228	5.28:
April 7	65	5.12	» 19	113	4.89	Febr. 18	176	5.31	» 14	228	5.00
März 24	82	4.70	» 19	117	4.98	» 18	176	5.36	» 14	229	5.04
» 24	83	4.69	» 19	119	4.96	» 18	177	5.38	Febr. 19	229	4.92
Febr. 9	85	4.76	» 19	120	5.13	» 18	177	5.45	» 19	231	4.97
» 9	88	4.77	April 1	124	5.19	» 11	186	5.26	» 12	234	5.26
» 9	90	4.84	Febr. 17	127	5.34	» 11	188	5.26	Jan. 7	235	5.32

Digitized by Google

Datum		Anom.	Gr.
Jan.	22	262°	5^{m}04
Febr.	27	266	5.36
»	27	267	5.25
»	27	268	5.11
»	27	271	4.94
Jan.	15	272	5.24
»	15	276	5.21
Febr.	20	277	4.99
Febr.	20	278°	5^{m}11
»	20	280	5.03
»	20	282	5.05
»	13	285	5.08
März	21	292	4.88
»	21	293	5.03
Jan.	23	311	5.05
Dez.	18	312	5.19
Dez.	18	315°	5^{m}19
Jan.	23	318	5.05
»	16	320	5.09
Febr.	21	326	5.08:
Jan.	16	327	5.01
Febr.	21	330	4.89:
März	22	341	4.96
»	22	342	4.99
Febr.	7	343°	5^{m}03
März	22	343	4.95
Febr.	7	345	5.20
»	7	347	4.96
»	7	349	5.04
Jan.	31	354	5.32
Dez.	19	355	5.50

Trabant IV.

Datum		Anom.	Gr.
Jan.	17	12°	6^{m}19
»	17	13	6.38
Febr.	3	18	6.37
»	3	18	6.27
»	20	22	6.17
»	20	22	6.08
»	20	22	6.09
»	20	23	6.15
»	20	23	6.15
Jan.	18	34	6.12
Febr.	21	43	6.37:
»	21	44	6.24:
März	10	47	6.26
»	10	47	6.20
Jan.	19	55	(6.01)
»	19	57	6.39
»	19	58	6.24
»	19	59	6.24
»	20	76	6.21
»	20	78	6.27
»	20	80	6.31
Dez.	18	91°	6^{m}16
»	18	91	6.48
»	18	92	6.45
»	18	92	6.28
Jan.	21	100	6.41
»	21	101	6.32
»	21	102	6.24
Febr.	7	103	6.32
»	7	105	6.34
»	7	105	6.40
Dez.	19	109	6.39
»	19	110	6.35
Jan.	22	120	6.33
»	23	142	6.24
»	23	144	6.44
Febr.	9	147	6.39
»	9	148	6.44
»	9	149	6.40
»	26	151	6.12
»	26	152	6.24
»	26	152	6.31
April	1	156°	6^{m}14
Jan.	7	158	6.39
»	7	162	6.24
Febr.	27	172	6.42
»	27	173	6.39
»	27	174	6.43
März	16	176	6.51
»	16	177	6.48
Febr.	11	190	6.28
»	11	192	6.24
März	17	196	6.23
»	17	196	6.36
Jan.	26	205	6.55
»	26	208	6.34
März	1	214	6.46
»	18	217	6.19
Febr.	13	230	6.29
März	21	281	6.18
»	21	282	6.15
Jan.	13	287	5.97
»	13	290	6.21
Jan.	13	290°	6^{m}13
»	13	292	6.02
März	22	302	6.12
»	22	302	6.17
»	22	303	5.99
»	22	303	6.10
Jan.	14	311	6.16
»	14	312	5.99
»	31	313	6.15
Febr.	17	317	6.11
März	23	324	6.29
»	23	324	6.22
Jan.	15	330	6.16
»	15	332	6.22
Febr.	18	338	6.17
März	24	345	6.23
Jan.	16	351	6.28
»	16	354	6.41
Febr.	2	355	6.47

Tafel VI.

Bonner Beobachtungen.

Datum		Anomalien				Beobachtungen				Kurven			
		I	II	III	IV	IV	II	I	III	IV	II	I	III
Dez.	22	—	338°	145°	174°	0^{m}0	0^{m}3	—	0^{m}8	6^{m}45	0^{m}55	—	1^{m}35
»	22	—	338	145	174	»	0.25	—	0.65	6.45	0.55	—	1.35
»	22	197°±	345±	149	175	»	0.3	0^{m}2	0.8	6.45	0.6±	0^{m}6±	1.35
»	23	47	91	201	197	»	0.7	0.4	0.8	6.4	0.85	0.75	1.3
»	27	115	123	35	281	»	0.2	0.3	0.5	6.15	0.75	0.65	1.2
»	27	119	125	36	281	»	0.2	0.45	0.5	6.15	0.75	0.55	1.2
»	27	127	129	38	282	»	0.05	0.2	0.5	6.15	0.7	0.6	1.2
»	27	138	134	41	282	»	0.1	0.3	0.5	6.15	0.7	0.7	1.25
Jan.	1	44	265	285	28	»	0.45	0.75	0.95	6.1	0.4	0.4	1.05
»	1	45	266	285	28	»	0.4	0.9	1.0	6.1	0.45	0.4	1.05
»	1	46	266	285	28	»	0.45	0.75	0.95	6.1	0.45	0.45	1.05
»	1	49	268	286	28	»	0.35	0.6	0.9	6.1	0.45	0.5	1.1
»	1	53	270	287	29	»	0.3	0.6	0.85	6.1	0.5	0.6	1.1
»	2	251	—	336	50	»	—	0.4	0.75	6.25	—	0.7	1.3
»	2	257	—	337	50	»	—	0.2	0.6	6.25	—	0.6	1.3
»	2	262	—	338	51	»	—	0.2	0.5	6.25	—	0.5	1.25
»	2	268	17	340	52	»	0.0	0.2:	0.6:	6.25	0.75±	0.4	1.25
»	2	270	18	340	52	»	−0.2	−0.1	0.1	6.25	0.75±	0.4	1.25
»	2	271	18	341	52	»	−0.2	−0.3	0.0	6.25	0.75±	0.4	1.25
»	2	271	19	341	52	»	0.0	0.2	0.5	6.25	0.75	0.4	1.25
»	2	278	22	342	53	»	−0.1	0.1	0.4	6.25	0.65	0.65	1.25
»	2	291	28	346	54	»	−0.2	0.2	0.5	6.25	0.5	0.8	1.2

Digitized by Google

Tafel VIIa.

Beobachtungen von Auwers.

Trabant I.

Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.
58 Nov. 19	15°	$5^{m}.69$	60 Jan. 11	80°	$5^{m}.07$	60 Jan. 24	196°	$6^{m}.08$	60 Mai 6	289°	$5^{m}.51$
59 April 6	19	5.65	60 » 27	81	5.44	59 Dez. 16	201	5.49	59 März 10	291	5.45
58 Nov. 12	30	5.55	59 » 22	84	5.27	60 April 25	206	5.74	59 Nov. 20	300	5.35
60 Mai 3	33	5.50	60 März 27	86	5.37	59 Jan. 8	208	5.41	58 » 24	301	5.49
59 März 7	41	5.63	60 April 28	89	5.43	59 April 7	216	5.50	60 April 6	304	5.54
60 Jan. 16	43	5.82	59 Febr. 14	102	5.42	59 Dez. 2	227	5.38	59 Sept. 19	310	5.72
60 Mai 19	43	5.59	59 » 7	112	5.42	59 Jan. 21	229	5.20	59 Febr. 8	314	5.48
60 Febr. 10	55	5.51	58 Dez. 16	113	5.42	60 Febr. 25	230	5.61	59 Okt. 28	318	5.6
59 » 5	60	5.39	60 Jan. 29	123	5.52	59 Okt. 17	231	5.55	59 März 19	320	5.77
60 Mai 12	60	5.43	59 Dez. 21	136	5.43	58 Nov. 13	236	5.55	59 Febr. 1	321	5.48
59 Dez. 3	66	5.32	59 Jan. 8	147	5.38	60 Mai 20	246	5.48	60 April 15	327±	5.63
59 Jan. 6	67	5.35	59 Dez. 7	153	5.59	59 Dez. 11	251	5.36			
59 Nov. 26	68	5.28	60 April 23	153	5.37	60 März 28	263	5.60			
60 März 20	72	5.45	58 Dez. 18	158	5.43	59 Nov. 18	268	5.85			

Trabant II.

Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.
58 Dez. 16	8°	$5^{m}.57$	60 April 24	112°	$5^{m}.23$	59 Jan. 8	197°	$5^{m}.63$	59 März 28	272°	$5^{m}.52$
60 Jan. 11	10	(6.07)	60 März 30	118	5.40	59 April 7	199	5.60	59 Dez. 2	275	5.53
59 Dez. 3	15	5.62	60 Mai 19	123	5.34	60 Mai 9	202	5.63	60 April 15	279	5.6
59 Nov. 26	19	5.48	60 Mai 12	135	5.51	58 Dez. 18	210	5.53	58 Nov. 24	289	5.51
60 Jan. 29	26	5.61	59 Nov. 20	138	5.85	60 April 25	215	5.59	59 Okt. 17	296	5.53
59 Dez. 21	44	5.43	59 Febr. 5	144	5.39	60 Mai 20	224	5.56	59 Nov. 18	302	5.85
59 Jan. 21	57	5.50	58 Nov. 19	147	5.61	59 Jan. 5	228	5.50	59 März 7	305	5.72
59 Dez. 7	58	5.29	60 April 28	155	5.59	60 Jan. 24	244	5.43	60 Mai 3	306	5.40
60 Jan. 8	63	5.42	58 Nov. 12	157	5.55	59 März 10	245	5.65	59 Okt. 28	336	5.6:
59 März 19	79	5.87	60 März 20	163	5.65	60 Febr. 25	250	5.71	59 Jan. 6	338	5.60
59 Febr. 8	90	5.41	59 Jan. 22	164	5.52	60 Mai 6	252	5.51	59 Dez. 24	338	5.66
60 April 6	92	5.35	60 Febr. 10	167	5.96	60 März 28	255	5.80	59 Febr. 14	343	(5.12)
59 Febr. 1	101	5.32	60 März 27	167	5.87	59 Mai 6	257	5.58	59 » 7	350	5.57
59 April 6	101	5.45	60 Jan. 16	169	5.62	59 Dez. 16	258	5.49			
59 Dez. 11	105	5.56	60 Jan. 27	186	5.64	58 Nov. 13	259	5.70			

Trabant III.

Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.
58 Nov. 24	15°	$5^{m}.24$	59 Febr. 5	99°	$4^{m}.99$	59 März 7	166°	$5^{m}.25$	59 Sept. 19	277°	$4^{m}.97$
59 Dez. 16	18	5.14	59 Jan. 22	112	4.92	60 Mai 3	173	5.65	59 April 7	280	5.05
59 Jan. 6	26	5.10	60 Mai 9	118	5.08	58 Nov. 13	183	5.57	59 Dez. 7	280	4.79
60 April 23	29	4.97	60 März 27	119	5.02	59 Febr. 14	194	5.14	60 April 28	280	5.14
59 Dez. 2	31	4.93	60 » 20	120	4.95	59 Febr. 7	201	5.26	59 Mai 6	296	5.18
58 Dez. 16	47	5.12	59 Dez. 11	124	5.11	59 April 6	232	5.15	60 » 20	305	5.20
59 März 19	48	4.87	58 Nov. 19	126	5.31	59 Okt. 17	238	5.15	60 Febr. 10	315	5.02
59 Nov. 18	49	5.15	60 April 25	131	5.01	60 Jan. 11	245	4.67	59 März 10	316	5.15
59 Dez. 24	56	5.16	58 Nov. 12	132	5.15	59 Febr. 8	250	5.08	60 Mai 6	325	5.21
59 Jan. 21	59	5.20	59 Jan. 8	134	5.08	60 Mai 19	255	4.99	59 Jan. 5	327	5.33
60 » 29	69	5.11	59 März 28	141	5.17	59 Febr. 1	256	5.07	60 » 27	328	5.14
60 April 24	80	4.83	60 Jan. 16	145	5.02	60 April 6	257	5.09	60 April 15	347	5.33
59 Dez. 3	81	4.72	58 Dez. 18	147	5.23	60 Mai 12	264	5.19	60 Febr. 25	352	5.71
59 Nov. 26	85	4.78	59 Nov. 20	147	5.05	59 Dez. 21	269	5.23			
60 Jan. 8	92	4.92	60 März 28	162	5.45	60 Mai 30	273	4.95			

Digitized by Google

Trabant IV.

Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.
59 Dez. 16	20°	$6^{m}.44$	60 März 30	125°	$6^{m}.40$	59 Nov. 20	168°	$6^{m}.15$	60 März 20	266°	$6^{m}.05$
60 April 28	24	6.18	59 Nov. 18	126	6.25	59 Dez. 7	174	6.59	60 April 6	273	6.05
59 Febr. 1	33	6.32	60 Febr. 25	128	6.21	59 Jan. 22	176	6.52	59 Sept. 19	279	5.92
59 März 7	45	6.20	59 Dez. 21	130	6.43	59 Febr. 8	184	6.41	60 April 23	279	6.12
60 » 27	60	6.17	60 Mai 3	133	6.35	59 Jan. 6	189	6.40	59 Nov. 26	296	5.48:
59 Dez. 2	67	6.33	60 Jan. 24	134	6.28	59 Dez. 24	190	6.56	60 April 24	300	5.98
58 Nov. 12	77	6.15	59 März 28	136	6.42	60 Jan. 27	198	6.24	59 März 19	304	6.12
60 März 28	78	6.20	60 Mai 20	137	6.36	60 Mai 6	198	6.31	59 Febr. 14	315	6.17
59 Dez. 3	88	6.32	58 Dez. 18	138	6.23	60 Jan. 11	212	6.37	60 April 25	322	6.01
58 » 16	94	6.32	60 Febr. 10	142	6.17	58 Nov. 19	228	6.26	60 Jan. 16	323	6.22
58 Nov. 13	99	6.33	60 Jan. 8	147	6.27	59 Jan. 8	236	6.28	60 Mai 12	326	6.15
60 April 15	105	6.28	59 » 21	153	6.45	60 » 29	241	6.12	59 April 6	330	6.25
59 März 10	109	6.45	59 Okt. 17	157	6.45	59 Mai 6	251	6.28	58 Nov. 24	334	6.19
60 Mai 19	115	6.24	59 Febr. 7	163	6.26	59 Dez. 11	261	6.01	59 April 7	351	6.30
59 Febr. 5	119	6.39	59 Jan. 5	166	6.21	60 Mai 9	264	6.03			

Tafel VIIb.

Beobachtungen von Auwers am Kometensucher.

Trabant I			Trabant II			Trabant III			Trabant IV		
Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.	Datum	Anom.	Gr.
59 Febr. 5	28°	$5^{m}.5$	58 Nov. 22	88°	$5^{m}.5$	59 April 24	52°	$4^{m}.85$	60 Mai 1	92°	$6^{m}.35$
58 Nov. 21	43	5.55	58 Dez. 17	109	5.5	60 Mai 1	78	4. 8	58 Dez. 17	116	6.25
59 April 24	76	5.35	60 Mai 1	115	5.2	59 Febr. 5	91	4. 9	59 Febr. 5	116	6.35
58 Dez. 22	241	5.5	59 April 24	121	5.55	58 Dez. 17	97	4.95	58 Dez. 22	223	6.25
58 Nov. 22	257	5.5	59 Febr. 5	128	5.45	58 Nov. 21	222	5.15	59 Jan. 9	255	6.2
58 Dez. 17	314	5.3	59 Jan. 26	204	5.55	58 » 22	275	5.15	59 » 26	261	6.3
59 Jan. 9	322	6.0	58 Dez. 22	250	5.5	59 Jan. 26	311	5.1	58 Nov. 21	269	6.3
			59 Jan. 9	284	5.75	58 Dez. 22	346	5.35	58 » 22	291	6.25
			58 Nov. 21	340	5.7				59 April 24	353	6.3

Tafel VIII.

Messungen von Engelmann = E und Pickering (resp. Upton und Searle) = P.

Trabant I.

Datum	Anom.	Gr.	Bb.	Datum	Anom.	Gr.	Bb.	Datum	Anom.	Gr.	Bb.	Datum	Anom.	Gr.	Bb.
70 März 19	20°	$5^{m}.82$	E	78 Okt. 21	109°	$5^{m}.26$	P	70 Okt. 27	199°	$5^{m}.52$	E	70 Nov. 14	270°	$5^{m}.71$	E
78 Okt. 26	27	5.30	P	70 März 7	111	5.33	E	70 Nov. 19	205	5.59	E	70 März 6	273	5.46	E
70 März 19	34	5.86	E	70 Sept. 30	117	5.51	E	70 Sept. 27	213	5.45	E	70 Okt. 15	273	5.60	E
77 Okt. 23	39	5.58	P	70 » 23	122	5.61	E	70 Okt. 20	220	5.60	E	70 Sept. 22	282	5.51	E
77 » 23	43	5.58	P	70 Febr. 28	124	5.54	E	70 Nov. 5	240	5.55	E	70 Nov. 7	284	5.46	E
77 » 23	47	5.68	P	70 Nov. 8	129	5.59	E	70 April 5	243	5.61	E	70 März 15	291	5.58	E
70 Sept. 28	62	5.35	E	70 » 24	144	5.99	E	78 Okt. 20	243	5.45	P	78 Okt. 22	306	5.41	P
78 Okt. 5	69	5.40	P	70 April 1	147	5.64	E	70 März 13	246	5.47	E	70 » 1	322	5.73	E
70 April 6	87	5.43	E	70 Okt. 2	152	5.43	E	78 Okt. 13	254	5.47	P	70 Sept. 24	333	5.58	E
70 März 7	101	5.44	E	70 Nov. 17	159	5.49	E	70 März 6	257	5.58	E	70 Okt. 17	338	5.70	E
70 Nov. 15	104	5.48	E	70 Okt. 25	160	5.50	E	77 Okt. 17	268	6.05	P				

Trabant II.

Datum	Anom.	Gr.	Bb.	Datum	Anom.	Gr.	Bb.	Datum	Anom.	Gr.	Bb.	Datum	Anom.	Gr.	Bb.
70 Sept. 28	9°	$5^{m}.35$	E	70 Okt. 27	63°	$5^{m}.43$	E	70 Sept. 22	119°	$5^{m}.32$	E	70 Okt. 3	153°	$5^{m}.50$	E
70 März 6	21	5.71	E	70 » 20	76	5.51	E	70 März 7	123	5.55	E	70 Sept. 26	162	5.41	E
70 Nov. 24	22	5.62	E	70 März 3	77	5.64	E	70 » 7	128	5.46	E	70 Nov. 8	204	5.64	E
70 März 6	29	6.12	E	78 Okt. 5	81	5.53	P	70 April 1	134	5.58	E	77 Okt. 23	209	5.76	P
70 Nov. 17	36	5.60	E	70 Nov. 14	93	5.60	E	70 Okt. 17	136	5.58	E	77 » 23	210	5.68	P
70 Okt. 2	50	5.40	E	70 » 7	102	5.26	E	70 Febr. 28	138	5.65	E	70 Sept. 30	213	5.73	E

Digitized by Google

Datum	Anom.	Gr.	Bb.
78 Okt. 24	213°	$5^{m}81$	P
77 » 23	214	5.52	P
70 März 15	214	5.57	E
70 Sept. 23	219	5.71	E
70 Dez. 3	219	5.53	E
70 Okt. 25	225	5.73	E
70 Nov. 19	227°	$5^{m}57$	E
70 » 26	227	(5.61)	E
78 Okt. 17	231	5.16	P
70 » 18	237	(5.50)	E
70 März 19	258	5.71	E
70 Nov. 5	261	5.70	E
70 Sept. 27	263°	$5^{m}71$	E
70 März 19	264	5.80	E
78 Okt. 21	278	6.09	P
77 » 13	282	6.16	P
70 April 6	283	5.96	E
70 Okt. 15	285	5.78	E
70 Okt. 1	315°	$5^{m}89$	E
70 Sept. 24	324	5.78	E
77 Okt. 17	326	5.68	P

Trabant III.

Datum	Anom.	Gr.	Bb.
70 Nov. 5	4°	($5^{m}7$)	E
70 » 15	23	5.02	E
77 Okt. 23	24	5.13	P
77 » 23	26	5.43	P
77 » 23	26	5.38	P
70 März 7	42	5.07	E
70 Okt. 1	43	5.01	E
70 März 7	45	5.19	E
70 Sept. 24	50	5.11	E
70 Febr. 28	53	5.07	E
70 April 5	58	4.88	E
78 Okt. 17	66	5.55	P
70 März 15	84°	$4^{m}89$	E
77 Okt. 17	86	4.81	P
70 » 2	90	4.96	E
70 Nov. 14	96	5.05	E
70 » 7	103	4.77	E
70 April 6	108	4.78	E
70 Sept. 22	119	5.21	E
70 Okt. 17	127	5.04	E
70 April 1	136	4.97	E
70 Okt. 3	141	5.02	E
70 März 19	142	5.17	E
70 Nov. 15	144	5.10	E
70 März 19	146°	$5^{m}02$	E
70 Nov. 8	154	4.96	E
70 Okt. 25	169	5.13	E
70 Sept. 27	198	5.10	E
70 März 3	202	5.03	E
78 Okt. 20	212	5.05	P
78 » 13	219	5.12	P
70 Nov. 24	240	5.39	E
77 Okt. 13	245	5.06	P
70 Nov. 17	247	4.98	E
70 Sept. 28	250	5.02	E
70 Okt. 27	267	5.09	E
78 Okt. 21	269°	$5^{m}17$	P
70 » 20	276	5.30	E
78 » 22	317	5.00	P
70 Dez. 3	333	5.12	E
70 Nov. 26	338	(5.03)	E
70 März 13	346	5.00	E
70 Nov. 19	347	5.12	E
70 Sept. 30	352	5.24	E
70 März 6	353	5.54	E

Trabant IV.

Datum	Anom.	Gr.	Bb.
70 Nov. 15	5°	$6^{m}39$	E
70 Sept. 26	6	(6.21)	E
78 Okt. 21	6	6.41	P
78 » 5	19	6.30	P
78 » 22	27	6.23	P
70 Sept. 27	27	6.17	E
70 Dez. 3	35	5.97	E
70 Sept. 28	49	6.39	E
70 Nov. 17	49	6.29	E
70 Okt. 15	54	6.45	E
70 Nov. 18	70	(6.35)	E
70 » 19	92	6.37	E
70 Sept. 30	93°	$6^{m}37$	E
70 Okt. 17	99	6.79	E
70 März 13	112	6.45	E
70 Okt. 1	115	6.68	E
77 » 23	121	6.12	P
70 » 18	121	6.47	E
77 » 23	122	6.40	P
77 » 23	122	6.37	P
70 » 2	135	6.33	E
70 Nov. 5	149	6.28	E
70 März 15	154	6.13	E
70 Okt. 3	157	6.44	E
70 April 1	158°	$6^{m}16$	E
70 Okt. 20	163	6.19	E
78 » 13	192	6.28	P
70 Febr. 28	194	(5.8)	E
70 Nov. 24	200	6.22	E
70 März 19	240	6.26	E
70 » 19	242	6.20	E
70 April 5	245	6.37	E
70 März 3	258	6.28	E
70 April 6	266	6.29	E
77 Okt. 13	268	6.08	P
70 » 25	271	6.22	E
78 Okt. 17	280°	$6^{m}21$	P
70 Sept. 22	281	5.92	E
70 » 23	302	6.25	E
70 Okt. 27	314	6.31	E
70 März 6	322	6.01	E
70 » 6	324	6.06	E
70 Sept. 24	325	6.22	E
78 Okt. 20	342	6.23	P
70 Nov. 14	343	6.21	E
70 März 7	344	6.07	E
70 » 7	345	6.12	E
77 Okt. 17	354	6.80	P

Digitized by Google

Hilfstafeln für die Berechnung der Anomalien der Jupitertrabanten unter Annahme kreisförmiger Bahnen.

Tafel A.

Trabant II.

$U = 3^d 13^h 17^m.9$

			2^m	4^m	6^m	8^m	10^m	12^m
0^d	0^h	= 0^h	$0^h.00$	$0^h.00$	$0^h.00$	$0^h.00$	$0^h.00$	$0^h.00$
	10	= 10	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
	20	= 20	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05
1	6	= 30	0.01	0.02	0.04	0.05	0.06	0.07
	16	= 40	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.10
2	2	= 50	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12
	12	= 60	0.02	0.05	0.07	0.10	0.12	0.14
	22	= 70	0.03	0.06	0.08	0.11	0.14	0.17
3	8	= 80	0.03	0.06	0.10	0.13	0.16	0.19
	18	= 90	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18	0.22

Trabant III.

$U = 7^d 3^h 59^m.6$

			10^m	20^m	30^m	40^m	50^m
0^d	0^h	= 0^h	$0^h.00$	$0^h.00$	$0^h.00$	$0^h.00$	$0^h.00$
	10	= 10	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
	20	= 20	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
1	6	= 30	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15
	16	= 40	0.04	0.08	0.12	0.16	0.19
2	2	= 50	0.05	0.10	0.15	0.19	0.24
	12	= 60	0.06	0.12	0.17	0.23	0.29
	22	= 70	0.07	0.14	0.20	0.27	0.34
3	8	= 80	0.08	0.16	0.23	0.31	0.39
	18	= 90	0.09	0.17	0.26	0.35	0.44
4	4	= 100	0.10	0.19	0.29	0.39	0.48
	14	= 110	0.11	0.21	0.32	0.43	0.53
5	0	= 120	0.12	0.23	0.35	0.47	0.58
	10	= 130	0.13	0.25	0.38	0.50	0.63
	20	= 140	0.14	0.27	0.41	0.54	0.68
6	6	= 150	0.15	0.29	0.44	0.58	0.73
	16	= 160	0.16	0.31	0.47	0.62	0.78
7	2	= 170	0.16	0.33	0.49	0.66	0.82
	12	= 180	0.17	0.35	0.52	0.70	0.87

Trabant IV.

$U = 16^d 18^h 5^m.1$

			$0^h.5$	$1^h.0$	$1^h.5$	$2^h.0$	$2^h.5$	$3^h.0$	$3^h.5$	$4^h.0$	$4^h.5$
0^d	0^h	= 0^h	$0^h.00$	$0^h.00$	$0^h.00$	$0^h.00$	$0^h.00$	$0^h.00$	$0^h.00$	$0^h.00$	$0^h.00$
	10	= 10	0.01	0.02	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	0.11
	20	= 20	0.02	0.05	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.22
1	6	= 30	0.04	0.07	0.11	0.15	0.18	0.22	0.26	0.30	0.34
	16	= 40	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
2	2	= 50	0.06	0.12	0.19	0.25	0.31	0.37	0.44	0.50	0.56
	12	= 60	0.07	0.15	0.22	0.30	0.37	0.45	0.52	0.60	0.67
	22	= 70	0.09	0.17	0.26	0.35	0.43	0.52	0.61	0.70	0.78
3	8	= 80	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
	18	= 90	0.11	0.22	0.34	0.45	0.56	0.67	0.79	0.90	1.01
4	4	= 100	0.12	0.25	0.37	0.50	0.62	0.75	0.87	1.00	1.12
	14	= 110	0.14	0.27	0.41	0.55	0.68	0.82	0.96	1.09	1.23
5	0	= 120	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90	1.05	1.19	1.34
	10	= 130	0.16	0.32	0.49	0.65	0.81	0.97	1.13	1.29	1.46
	20	= 140	0.17	0.35	0.52	0.70	0.87	1.04	1.22	1.39	1.57
6	6	= 150	0.19	0.37	0.56	0.75	0.93	1.12	1.31	1.49	1.68
	16	= 160	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.19	1.39	1.59	1.79
7	2	= 170	0.21	0.42	0.63	0.85	1.06	1.27	1.48	1.69	1.90
	12	= 180	0.22	0.45	0.67	0.90	1.12	1.34	1.57	1.79	2.02
	22	= 190	0.24	0.47	0.71	0.95	1.18	1.42	1.65	1.89	2.13
8	8	= 200	0.25	0.50	0.75	1.00	1.24	1.49	1.74	1.99	2.24
8^d	18^h	= 210^h	$0^h.26$	$0^h.52$	$0^h.78$	$1^h.04$	$1^h.31$	$1^h.57$	$1^h.83$	$2^h.09$	$2^h.35$
9	4	= 220	0.27	0.55	0.82	1.09	1.37	1.64	1.92	2.19	2.46
	14	= 230	0.29	0.57	0.86	1.14	1.43	1.72	2.00	2.29	2.58
10	0	= 240	0.30	0.60	0.90	1.19	1.49	1.79	2.09	2.39	2.69
	10	= 250	0.31	0.62	0.93	1.24	1.56	1.87	2.18	2.49	2.80
	20	= 260	0.32	0.65	0.97	1.29	1.62	1.94	2.26	2.59	2.91
11	6	= 270	0.34	0.67	1.01	1.34	1.68	2.02	2.35	2.69	3.02
	16	= 280	0.35	0.70	1.04	1.39	1.74	2.09	2.44	2.79	3.13
12	2	= 290	0.36	0.72	1.08	1.44	1.80	2.16	2.52	2.89	3.25
	12	= 300	0.37	0.75	1.12	1.49	1.87	2.24	2.61	2.99	3.36
	22	= 310	0.39	0.77	1.16	1.54	1.93	2.31	2.70	3.09	3.47
13	8	= 320	0.40	0.80	1.19	1.59	1.99	2.39	2.78	3.18	3.58
	18	= 330	0.41	0.82	1.23	1.64	2.05	2.46	2.87	3.28	3.69
14	4	= 340	0.42	0.85	1.27	1.69	2.12	2.54	2.96	3.38	3.81
	14	= 350	0.44	0.87	1.31	1.74	2.18	2.61	3.05	3.48	3.92
15	0	= 360	0.45	0.90	1.34	1.79	2.24	2.69	3.13	3.58	4.03
	10	= 370	0.46	0.92	1.38	1.84	2.30	2.76	3.22	3.68	4.14
	20	= 380	0.47	0.95	1.42	1.89	2.37	2.84	3.31	3.78	4.25
16	6	= 390	0.49	0.97	1.46	1.94	2.43	2.91	3.40	3.88	4.37
	16	= 400	0.50	1.00	1.49	1.99	2.49	2.99	3.48	3.98	4.48
17	2	= 410	0.51	1.02	1.53	2.04	2.55	3.06	3.57	4.08	4.59

Digitized by Google

Tafel B.

Trabant I.

0ʰ0	0°00
0.1	0.85
0.2	1.69·
0.3	2.54
0.4	3.39
0.5	4.24
0.6	5.08·
0.7	5.93
0.8	6.78
0.9	7.63
1.0	8.47·

	0ᵈ+	1ᵈ+
1ʰ	8°47·	211°87·
2	16.95	220.35
3	25.42·	228.82·
4	33.90	237.30
5	42.37·	245.77·
6	50.85	254.25
7	59.32·	262.72·
8	67.80	271.20
9	76.27·	279.67·
10	84.75	288.15
11	93.22·	296.62·
12	101.70	305.10
13	110.17·	313.57·
14	118.65	322.05
15	127.12·	330.52·
16	135.60	339.00
17	144.07·	347.47·
18	152.55	355.95
19	161.02·	364.42·
20	169.50	
21	177.97·	
22	186.45	
23	194.92·	
24	203.40	

Trabant II.

0ʰ0	0°00
0.1	0.42
0.2	0.84
0.3	1.27
0.4	1.69
0.5	2.11
0.6	2.53
0.7	2.95
0.8	3.38
0.9	3.80
1.0	4.22

	0ᵈ+	1ᵈ+	2ᵈ+	3ᵈ+
1ʰ	4°22	105°51	206°80	308°09
2	8.44	109.73	211.02	312.31
3	12.66	113.95	215.24	316.53
4	16.88	118.17	219.46	320.75
5	21.10	122.39	223.68	324.97
6	25.32	126.61	227.90	329.19
7	29.54	130.83	232.12	333.41
8	33.76	135.05	236.34	337.63
9	37.98	139.27	240.56	341.85
10	42.20	143.49	244.78	346.07
11	46.42	147.71	249.00	350.29
12	50.64	151.93	253.22	354.51
13	54.87	156.16	257.45	358.74
14	59.09	160.38	261.67	362.96
15	63.31	164.60	265.89	
16	67.53	168.82	270.11	
17	71.75	173.04	274.33	
18	75.97	177.26	278.55	
19	80.19	181.48	282.77	
20	84.41	185.70	286.99	
21	88.63	189.92	291.21	
22	92.85	194.14	295.43	
23	97.07	198.36	299.65	
24	101.29	202.58	303.87	

Trabant III.

0ʰ0	0°00
0.1	0.21
0.2	0.42
0.3	0.63
0.4	0.84
0.5	1.05
0.6	1.26
0.7	1.47
0.8	1.67
0.9	1.88
1.0	2.09

	0ᵈ+	1ᵈ+	2ᵈ+	3ᵈ+	4ᵈ+	5ᵈ+	6ᵈ+	7ᵈ+
1ʰ	2°09	52°33	102°56	152°80	203°03	253°27	303°50	353°74
2	4.19	54.42	104.66	154.89	205.13	255.36	305.60	355.83
3	6.28	56.51	106.75	156.98	207.22	257.45	307.69	357.92
4	8.37	58.61	108.84	159.08	209.31	259.55	309.78	360.02
5	10.47	60.70	110.94	161.17	211.41	261.64	311.88	
6	12.56	62.79	113.03	163.26	213.50	263.73	313.97	
7	14.65	64.89	115.12	165.36	215.59	265.83	316.06	
8	16.74·	66.98	117.21·	167.45	217.68·	267.92	318.15·	
9	18.84	69.07	119.31	169.54	219.78	270.01	320.25	
10	20.93	71.17	121.40	171.64	221.87	272.11	322.34	
11	23.02	73.26	123.49	173.73	223.96	274.20	324.43	
12	25.12	75.35	125.59	175.82	226.06	276.29	326.53	
13	27.21	77.45	127.68	177.92	228.15	278.39	328.62	
14	29.30	79.54	129.77	180.01	230.24	280.48	330.71	
15	31.40	81.63	131.87	182.10	232.34	282.57	332.81	
16	33.49	83.72·	133.96	184.19·	234.43	284.66·	334.90	
17	35.58	85.82	136.05	186.29	236.52	286.76	336.99	
18	37.68	87.91	138.15	188.38	238.62	288.85	339.09	
19	39.77	90.00	140.24	190.47	240.71	290.94	341.18	
20	41.86	92.10	142.33	192.57	242.80	293.04	343.27	
21	43.96	94.19	144.43	194.66	244.90	295.13	345.37	
22	46.05	96.28	146.52	196.75	246.99	297.22	347.46	
23	48.14	98.38	148.61	198.85	249.08	299.32	349.55	
24	50.23·	100.47	150.70·	200.94	251.17·	301.41	351.64·	

Digitized by Google

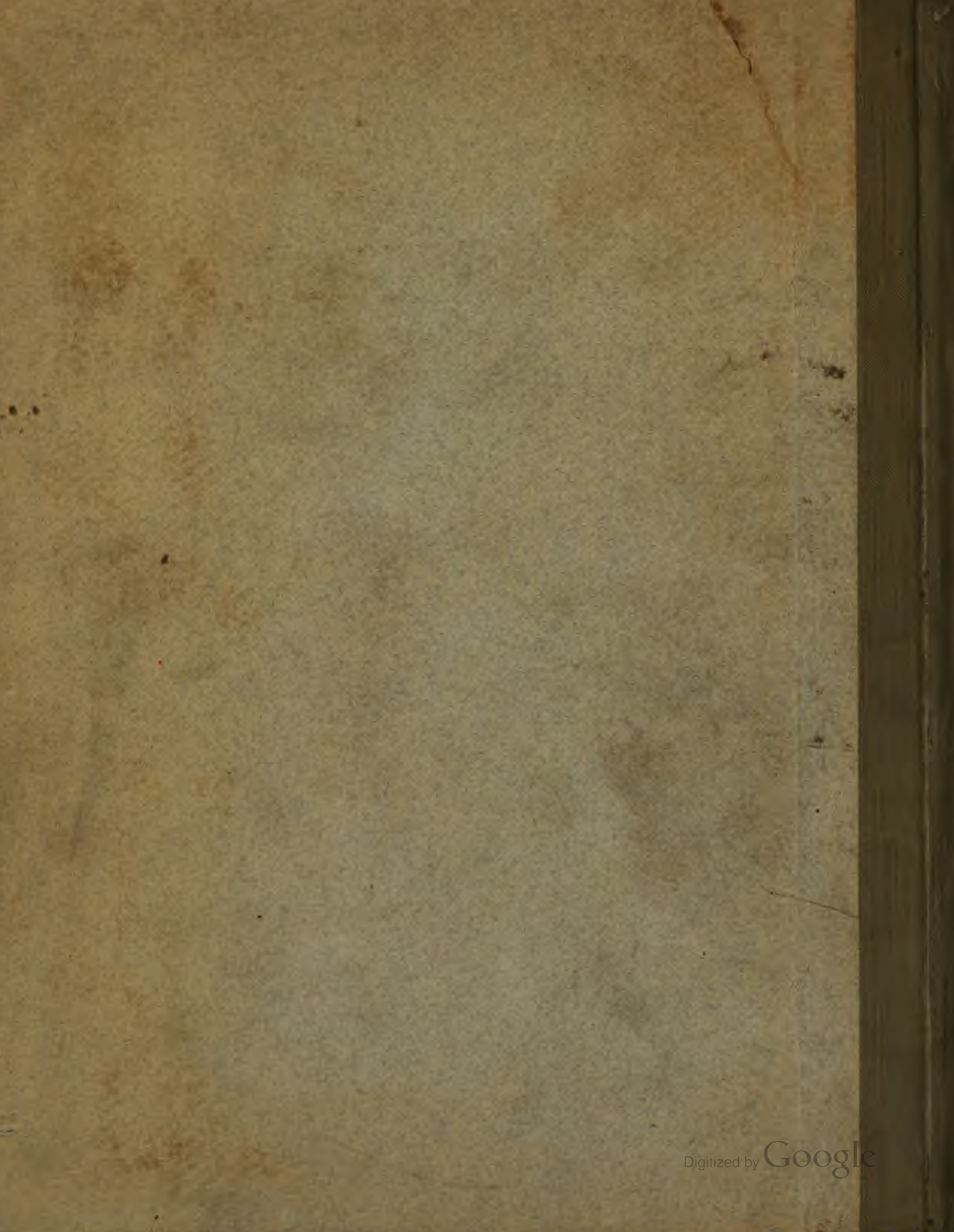
Trabant IV.

0ʰ.0	0°.00
0.1	0.09
0.2	0.18
0.3	0.27
0.4	0.36
0.5	0.45
0.6	0.54
0.7	0.63
0.8	0.72
0.9	0.81
1.0	0.90

	0ᵈ+	1ᵈ+	2ᵈ+	3ᵈ+	4ᵈ+	5ᵈ+	6ᵈ+	7ᵈ+	8ᵈ+
1ʰ	0°.90	22°.38	43°.87	65°.36	86°.85	108°.34	129°.82	151°.31	172°.80
2	1.79	23.28	44.77	66.25	87.74	109.23	130.72	152.21	173.69
3	2.69	24.17	45.66	67.15	88.64	110.13	131.61	153.10	174.59
4	3.58	25.07	46.56	68.05	89.53	111.02	132.51	154.00	175.49
5	4.48	25.96	47.45	68.94	90.43	111.92	133.40	154.89	176.38
6	5.37	26.86	48.35	69.84	91.32	112.81	134.30	155.79	177.28
7	6.27	27.76	49.29	70.73	92.22	113.71	135.20	156.68	178.17
8	7.16	28.65	50.14	71.63	93.11	114.60	136.09	157.58	179.07
9	8.06	29.55	51.03	72.52	94.01	115.50	136.99	158.47	179.96
10	8.95	30.44	51.93	73.42	94.91	116.39	137.88	159.37	180.86
11	9.85	31.34	52.82	74.31	95.80	117.29	138.78	160.26	181.75
12	10.74	32.23	53.72	75.21	96.70	118.18	139.67	161.16	182.65
13	11.64	33.13	54.62	76.10	97.59	119.08	140.57	162.06	183.54
14	12.53	34.02	55.51	77.00	98.49	119.97	141.46	162.95	184.44
15	13.43	34.92	56.41	77.89	99.38	120.87	142.36	163.85	185.33
16	14.33	35.81	57.30	78.79	100.28	121.77	143.25	164.74	186.23
17	15.22	36.71	58.20	79.68	101.17	122.66	144.15	165.64	187.12
18	16.12	37.60	59.09	80.58	102.07	123.56	145.04	166.53	188.02
19	17.01	38.50	59.99	81.48	102.96	124.45	145.94	167.43	188.92
20	17.91	39.39	60.88	82.37	103.86	125.35	146.83	168.32	189.81
21	18.80	40.29	61.78	83.27	104.75	126.24	147.73	169.22	190.71
22	19.70	41.19	62.67	84.16	105.65	127.14	148.63	170.11	191.60
23	20.59	42.08	63.57	85.06	106.54	128.03	149.52	171.01	192.50
24	21.49	42.98	64.46	85.95	107.44	128.93	150.42	171.90	193.39

	9ᵈ+	10ᵈ+	11ᵈ+	12ᵈ+	13ᵈ+	14ᵈ+	15ᵈ+	16ᵈ+
1ʰ	194°.29	215°.78	237°.26	258°.75	280°.24	301°.73	323°.22	344°.70
2	195.18	216.67	238.16	259.65	281.13	302.62	324.11	345.60
3	196.08	217.57	239.05	260.54	282.03	303.52	325.01	346.49
4	196.97	218.46	239.95	261.44	282.93	304.41	325.90	347.39
5	197.87	219.36	240.84	262.33	283.82	305.31	326.80	348.28
6	198.76	220.25	241.74	263.23	284.72	306.20	327.69	349.18
7	199.66	221.15	242.64	264.12	285.61	307.10	328.59	350.08
8	200.55	222.04	243.53	265.02	286.51	307.99	329.48	350.97
9	201.45	222.94	244.43	265.91	287.40	308.89	330.38	351.87
10	202.35	223.83	245.32	266.81	288.30	309.79	331.27	352.76
11	203.24	224.73	246.22	267.70	289.19	310.68	332.17	353.66
12	204.14	225.62	247.11	268.60	290.09	311.58	333.06	354.55
13	205.03	226.52	248.01	269.50	290.98	312.47	333.96	355.45
14	205.93	227.41	248.90	270.39	291.88	313.37	334.85	356.34
15	206.82	228.31	249.80	271.29	292.77	314.26	335.75	357.24
16	207.72	229.21	250.69	272.18	293.67	315.16	336.65	358.13
17	208.61	230.10	251.59	273.08	294.56	316.05	337.54	359.03
18	209.51	231.00	252.48	273.97	295.46	316.95	338.44	359.92
19	210.40	231.89	253.38	274.87	296.36	317.84	339.33	360.82
20	211.30	232.79	254.27	275.76	297.25	318.74	340.23	
21	212.19	233.68	255.17	276.66	298.15	319.63	341.12	
22	213.09	234.58	256.07	277.55	299.04	320.53	342.02	
23	213.98	235.47	256.96	278.45	299.94	321.42	342.91	
24	214.88	236.37	257.86	279.34	300.83	322.32	343.81	

Digitized by Google



Digitized by Google